

Document made available under the Patent Cooperation Treaty (PCT)

International application number: PCT/JP05/003398

International filing date: 01 March 2005 (01.03.2005)

Document type: Certified copy of priority document

Document details: Country/Office: JP
Number: 2004-329826
Filing date: 12 November 2004 (12.11.2004)

Date of receipt at the International Bureau: 12 May 2005 (12.05.2005)

Remark: Priority document submitted or transmitted to the International Bureau in compliance with Rule 17.1(a) or (b)



World Intellectual Property Organization (WIPO) - Geneva, Switzerland
Organisation Mondiale de la Propriété Intellectuelle (OMPI) - Genève, Suisse

10. 3. 2005

日本国特許庁
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出願年月日
Date of Application: 2004年11月12日

出願番号
Application Number: 特願2004-329826

パリ条約による外国への出願
に用いる優先権の主張の基礎
となる出願の国コードと出願
番号

The country code and number
of your priority application,
to be used for filing abroad
under the Paris Convention, is

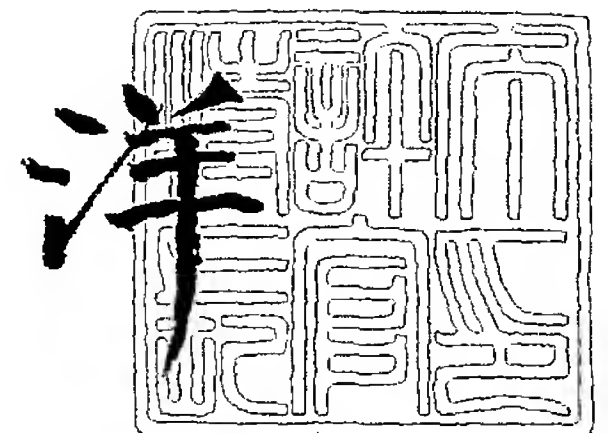
J P 2 0 0 4 - 3 2 9 8 2 6

出願人
Applicant(s): 三洋電機株式会社

2005年 4月19日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

小川



【書類名】 特許願
【整理番号】 NQR1040027
【提出日】 平成16年11月12日
【あて先】 特許庁長官殿
【国際特許分類】 G06T 3/00
G09C 5/00
H04N 1/387

【発明者】
【住所又は居所】 大阪府守口市京阪本通2丁目5番5号 三洋電機株式会社内
【氏名】 竹内 悟

【発明者】
【住所又は居所】 大阪府守口市京阪本通2丁目5番5号 三洋電機株式会社内
【氏名】 辻田 孝介

【発明者】
【住所又は居所】 大阪府守口市京阪本通2丁目5番5号 三洋電機株式会社内
【氏名】 国狭 亜輝臣

【発明者】
【住所又は居所】 大阪府守口市京阪本通2丁目5番5号 三洋電機株式会社内
【氏名】 井上 泰彰

【特許出願人】
【識別番号】 000001889
【氏名又は名称】 三洋電機株式会社

【代理人】
【識別番号】 100105924
【弁理士】
【氏名又は名称】 森下 賢樹
【電話番号】 03-3461-3687

【先の出願に基づく優先権主張】
【出願番号】 特願2004- 89684
【出願日】 平成16年 3月25日

【手数料の表示】
【予納台帳番号】 091329
【納付金額】 16,000円

【提出物件の目録】
【物件名】 特許請求の範囲 1
【物件名】 明細書 1
【物件名】 図面 1
【物件名】 要約書 1
【包括委任状番号】 0010682

【書類名】 特許請求の範囲**【請求項 1】**

異なるズーム倍率で撮影された既知の画像にもとづいて、ズーム倍率毎にレンズ歪みの補正情報を算出するレンズ歪み算出部と、
前記レンズ歪みの補正情報をズーム倍率に対応づけて記憶する記憶部とを含むことを特徴とする画像補正装置。

【請求項 2】

レンズ歪みの補正情報をレンズのズーム倍率に対応づけて格納した記憶部と、
入力された撮影画像の撮影時のズーム倍率に応じた前記レンズ歪みの補正情報を前記記憶部から選択する選択部と、
選択された前記レンズ歪みの補正情報にもとづいて、前記撮影画像の撮影による歪みを補正する歪み補正部とを含むことを特徴とする画像補正装置。

【請求項 3】

前記選択部は、前記撮影時のズーム倍率に応じて複数のレンズ歪みの補正情報を前記記憶部から候補として選択し、前記複数のレンズ歪みの補正情報の各々により前記撮影画像内の既知形状をなすサンプル点列を補正して、誤差を事前評価することにより、前記複数のレンズ歪みの補正情報の内、1つのレンズ歪みの補正情報を選択することを特徴とする請求項 2 に記載の画像補正装置。

【請求項 4】

異なるズーム倍率で撮影された既知の画像にもとづいて、ズーム倍率毎にレンズ歪みの生じた画像内の点をレンズ歪みの生じていない画像内の点に写像するレンズ歪み補正関数とその逆関数を算出するレンズ歪み算出部と、
前記レンズ歪み補正関数とその逆関数の対をズーム倍率に対応づけて記憶する記憶部とを含むことを特徴とする画像補正装置。

【請求項 5】

レンズ歪みの生じた画像内の点をレンズ歪みの生じていない画像内の点に写像するレンズ歪み補正関数とその逆関数の対をレンズのズーム倍率に対応づけて格納した記憶部と、
入力された撮影画像の撮影時のズーム倍率に応じた前記レンズ歪み補正関数の逆関数を前記記憶部から選択する選択部と、
選択された前記レンズ歪み補正関数の逆関数にもとづいて、前記撮影画像の撮影による歪みを補正する歪み補正部とを含むことを特徴とする画像補正装置。

【請求項 6】

前記選択部は、撮影時のズーム倍率に応じて複数のレンズ歪み補正関数を前記記憶部から候補として選択し、前記複数のレンズ歪み補正関数の各々により前記撮影画像内の既知形状をなすサンプル点列を補正して、誤差を事前評価することにより、前記複数のレンズ歪み補正関数の逆関数の内の1つを選択することを特徴とする請求項 5 に記載の画像補正装置。

【請求項 7】

レンズ歪みの生じた画像内の点をレンズ歪みの生じていない画像内の点に写像するレンズ歪み補正関数をレンズのズーム倍率に対応づけて格納した記憶部と、
入力された撮影画像の撮影時のズーム倍率に応じた前記レンズ歪み補正関数を前記記憶部から選択する選択部と、
選択された前記レンズ歪み補正関数によりレンズ歪みの補正された画像を用いて、透視歪みの生じていない画像内の点を透視歪みの生じた画像内の点に写像する透視歪み関数を算出する透視歪み算出部と、
前記透視歪み算出部により算出された透視歪み関数にもとづいて、前記撮影画像の撮影による歪みを補正する歪み補正部とを含むことを特徴とする画像補正装置。

【請求項 8】

前記選択部は、撮影時のズーム倍率に応じて複数のレンズ歪み補正関数を前記記憶部から候補として選択し、前記複数のレンズ歪み補正関数の各々により前記撮影画像内の既知

形状をなすサンプル点列を補正して、誤差を事前評価することにより、前記複数のレンズ歪み補正関数の内の1つを選択することを特徴とする請求項7に記載の画像補正装置。

【請求項9】

異なるズーム倍率で撮影された既知の画像にもとづいて、ズーム倍率毎にレンズ歪みの生じた画像内の点をレンズ歪みの生じていない画像内の点に写像するレンズ歪み補正関数とその逆関数を算出するステップと、

前記レンズ歪み補正関数とその逆関数の対をズーム倍率に対応づけてデータベースに登録するステップとを含むことを特徴とする画像補正データベース作成方法。

【請求項10】

レンズ歪みの生じた画像内の点をレンズ歪みの生じていない画像内の点に写像するレンズ歪み補正関数とその逆関数の対をレンズのズーム倍率に対応づけて登録したデータベースを参照し、入力された撮影画像の撮影時のズーム倍率に応じた前記レンズ歪み補正関数の逆関数を選択するステップと、

選択された前記レンズ歪み補正関数の逆関数にもとづいて、前記撮影画像の撮影による歪みを補正するステップとを含むことを特徴とする画像補正方法。

【請求項11】

前記歪みを補正するステップは、

選択された前記レンズ歪み補正関数の逆関数によって、撮影による歪みの生じていない目標画像内の点をレンズ歪みの生じた撮影画像内の点に写像するステップと、

前記目標画像内の点の画素値を写像先の前記撮影画像内の点の近傍の画素値の補間により求めるステップとを含むことを特徴とする請求項10に記載の画像補正方法。

【請求項12】

前記レンズ歪み補正関数の逆関数を選択するステップは、撮影時のズーム倍率に応じて複数のレンズ歪み補正関数を候補として選択し、前記複数のレンズ歪み補正関数の各々により前記撮影画像内の既知形状をなすサンプル点列を補正して、誤差を事前評価することにより、前記複数のレンズ歪み補正関数の逆関数の内の1つを選択することを特徴とする請求項10または11に記載の画像補正方法。

【請求項13】

レンズ歪みの生じた画像内の点をレンズ歪みの生じていない画像内の点に写像するレンズ歪み補正関数をレンズのズーム倍率に対応づけて登録したデータベースを参照し、入力された撮影画像の撮影時のズーム倍率に応じた前記レンズ歪み補正関数を選択するステップと、

選択された前記レンズ歪み補正関数によりレンズ歪みの補正された画像を用いて、透視歪みの生じていない画像内の点を透視歪みの生じた画像内の点に写像する透視歪み関数を算出するステップと、

算出された前記透視歪み関数にもとづいて、前記撮影画像の撮影による歪みを補正するステップとを含むことを特徴とする画像補正方法。

【請求項14】

前記歪みを補正するステップは、

算出された前記透視歪み関数によって、撮影による歪みの生じていない目標画像内の点を透視歪みの生じた画像内の点に写像するステップと、

前記目標画像内の点の画素値を写像先の前記撮影画像内の点の近傍の画素値の補間により求めるステップとを含むことを特徴とする請求項13に記載の画像補正方法。

【請求項15】

前記レンズ歪み補正関数を選択するステップは、撮影時のズーム倍率に応じて複数のレンズ歪み補正関数を候補として選択し、前記複数のレンズ歪み補正関数の各々により前記撮影画像内の既知形状をなすサンプル点列を補正して、誤差を事前評価することにより、前記複数のレンズ歪み補正関数の内の1つを選択することを特徴とする請求項13または14に記載の画像補正方法。

【書類名】 明細書

【発明の名称】 画像補正装置、画像補正データベース作成方法、および画像補正方法

【技術分野】

【0001】

本発明は、画像処理技術に関し、特に画像を補正する画像補正装置、およびその装置における画像補正データベース作成方法および画像補正方法に関する。

【背景技術】

【0002】

電子透かしが埋め込まれたデジタル画像を印刷媒体に印刷し、印刷された画像をデジタルカメラやスキャナ等で撮影して再度デジタル化して埋め込まれた電子透かしを検出するシステムがある。たとえば、チケットやカードを利用者に発行する際に、発行者や利用者に関する識別情報などを電子透かしとして視覚的に検知できないように画像に埋め込んでチケットやカードに印刷する。チケットやカードの利用時に、その電子透かしを検出することにより、偽造や不正入手などの不正行為を防止することができる。また、複写機やプリンタで画像を印刷する際に、著作権情報や機器の識別番号等を電子透かしとして埋め込んで印刷することにより、著作物、有価証券等の不正コピーを防止することができる。

【0003】

一般にデジタルカメラやスキャナを用いて印刷画像を撮影してデジタル化すると、撮影画像には、撮影機器のレンズの形状や焦点距離に依存したレンズ歪みや、撮影時の光軸の傾きに起因する透視歪みが生じ、印刷画像と撮影画像の間で画素のずれが現れる。そのため、印刷画像に埋め込まれた電子透かしを撮影画像から正しく抽出することは困難であり、撮影画像の歪み補正が必要となる。

【0004】

特許文献1には、較正パターンの画面中心付近の特徴点の位置ずれをもとに透視歪みに係る写像関数を作成し、さらに、その写像関数を用いて特徴点の理想的位置と画像上の実際の位置のずれを画面全体で評価し、レンズ歪みを補正するための補正関数を算出し、画像データの補正を行う画像補正装置が開示されている。

【特許文献1】 特許第2940736号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

撮影による画像歪みを補正するためには、撮影機器の歪み特性に関する情報や撮影時の光軸の傾きに関する情報を取得し、撮影画像に幾何学的な変換を施す必要がある。レンズの歪曲特性を詳細に示すプロファイルデータを利用して、精細な歪み補正をすることもできるが、プロファイルデータの記憶容量が大きくなり、処理に時間もかかる。

【0006】

また、画像歪みをどの程度詳細に調べて補正すべきかは、透かしの画像歪みに対する耐性に依存する。画像歪みに対して透かしの耐性が比較的強い場合に、精細な歪み補正をすることは無駄になるが、画像歪みに対して透かしの耐性が弱い場合には、粗い歪み補正では透かしの正しく検出することができない。透かし埋め込み時の透かしの耐性と透かし抽出時の画像補正の精度とがミスマッチを起こした場合、透かしの検出精度や検出効率が悪化することになる。

【0007】

本発明はこうした状況に鑑みてなされたもので、その目的は、画像歪みを高い精度で効率良く補正することのできる画像補正技術を提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【0008】

上記課題を解決するために、本発明のある態様の画像補正装置は、異なるズーム倍率で撮影された既知の画像にもとづいて、ズーム倍率毎にレンズ歪みの補正情報を算出するレンズ歪み算出部と、前記レンズ歪みの補正情報をズーム倍率に対応づけて記憶する記憶部

とを含む。

【0009】

ここで、「レンズ歪みの補正情報をズーム倍率に対応づけて記憶する」とは、レンズ歪みの補正情報が、必ずしもズーム倍率そのものに対応づけて記憶する場合だけでなく、実質的にズーム倍率に対応づけて記憶する場合も含む趣旨である。たとえば、被写体が撮像されるCCD (charge-coupled device) 面やフィルム面の対角長が一定のもと、画角や焦点距離はそれぞれズーム倍率に応じて変化するものであるから、レンズ歪みの補正情報を画角や焦点距離に対応づけて記憶する場合も、ここでいう「ズーム倍率に対応づけて記憶する」に含めるものとする。

【0010】

本発明の別の態様もまた、画像補正装置である。この装置は、レンズ歪みの補正情報をレンズのズーム倍率に対応づけて格納した記憶部と、入力された撮影画像の撮影時のズーム倍率に応じた前記レンズ歪みの補正情報を前記記憶部から選択する選択部と、選択された前記レンズ歪みの補正情報にもとづいて、前記撮影画像の撮影による歪みを補正する歪み補正部とを含む。

【0011】

前記選択部は、前記撮影時のズーム倍率に応じて複数のレンズ歪みの補正情報を前記記憶部から候補として選択し、前記複数のレンズ歪みの補正情報の各々により前記撮影画像内の既知形状をなすサンプル点列を補正して、誤差を事前評価することにより、前記複数のレンズ歪みの補正情報の内、1つのレンズ歪みの補正情報を選択してもよい。

【0012】

ここで、「既知形状をなすサンプル点列」とは、たとえば、撮影画像の画像枠上にとられたサンプル点列は撮影による歪みのない状態では直線上にあることがわかっているなど、撮影による歪みのない状態では、本来はどのような形状の上にサンプル点列があるかが既知であることをいう。別の例として、撮影された人物の顔の輪郭上のサンプル点列も、少なくともなめらかな曲線上にあることが既知である。

【0013】

本発明のさらに別の態様もまた、画像補正装置である。この装置は、異なるズーム倍率で撮影された既知の画像にもとづいて、ズーム倍率毎にレンズ歪みの生じた画像内の点をレンズ歪みの生じていない画像内の点に写像するレンズ歪み補正関数とその逆関数を算出するレンズ歪み算出部と、前記レンズ歪み補正関数とその逆関数の対をズーム倍率に対応づけて記憶する記憶部とを含む。

【0014】

ここで、「レンズ歪み補正関数とその逆関数の対をズーム倍率に対応づけて記憶する」とは、必ずしも関数の式と係数などの情報を記憶する場合に限らず、これらの関数の入力値と出力値の対応関係をテーブルにして記憶する場合も含む。たとえば、画像内の座標値とこれらの関数により写像された座標値との対応関係をテーブルにして記憶してもよい。

【0015】

本発明のさらに別の態様もまた、画像補正装置である。この装置は、レンズ歪みの生じた画像内の点をレンズ歪みの生じていない画像内の点に写像するレンズ歪み補正関数とその逆関数の対をレンズのズーム倍率に対応づけて格納した記憶部と、入力された撮影画像の撮影時のズーム倍率に応じた前記レンズ歪み補正関数とその逆関数の対を前記記憶部から選択する選択部と、選択された前記レンズ歪み補正関数の逆関数にもとづいて、前記撮影画像の撮影による歪みを補正する歪み補正部とを含む。この構成によれば、撮影によるレンズ歪みを補正することができる。

【0016】

本発明のさらに別の態様もまた、画像補正装置である。この装置は、レンズ歪みの生じた画像内の点をレンズ歪みの生じていない画像内の点に写像するレンズ歪み補正関数をレンズのズーム倍率に対応づけて格納した記憶部と、入力された撮影画像の撮影時のズーム倍率に応じた前記レンズ歪み補正関数を前記記憶部から選択する選択部と、選択された前

記レンズ歪み補正関数によりレンズ歪みの補正された画像を用いて、透視歪みの生じていない画像内の点を透視歪みの生じた画像内の点に写像する透視歪み関数を算出する透視歪み算出部と、前記透視歪み算出部により算出された透視歪み関数にもとづいて、前記撮影画像の撮影による歪みを補正する歪み補正部とを含む。この構成によれば、撮影による透視歪みとレンズ歪みを補正することができる。

【0017】

本発明のさらに別の態様は、画像補正データベース作成方法である。この方法は、異なるズーム倍率で撮影された既知の画像にもとづいて、ズーム倍率毎にレンズ歪みの生じた画像内の点をレンズ歪みの生じていない画像内の点に写像するレンズ歪み補正関数とその逆関数を算出するステップと、前記レンズ歪み補正関数とその逆関数の対をズーム倍率に対応づけてデータベースに登録するステップとを含む。

【0018】

本発明のさらに別の態様は、画像補正方法である。この方法は、レンズ歪みの生じた画像内の点をレンズ歪みの生じていない画像内の点に写像するレンズ歪み補正関数とその逆関数の対をレンズのズーム倍率に対応づけて登録したデータベースを参照し、入力された撮影画像の撮影時のズーム倍率に応じた前記レンズ歪み補正関数の逆関数を選択するステップと、選択された前記レンズ歪み補正関数の逆関数にもとづいて、前記撮影画像の撮影による歪みを補正するステップとを含む。

【0019】

本発明のさらに別の態様もまた、画像補正方法である。この方法は、レンズ歪みの生じた画像内の点をレンズ歪みの生じていない画像内の点に写像するレンズ歪み補正関数をレンズのズーム倍率に対応づけて登録したデータベースを参照し、入力された撮影画像の撮影時のズーム倍率に応じた前記レンズ歪み補正関数を選択するステップと、選択された前記レンズ歪み補正関数によりレンズ歪みの補正された画像を用いて、透視歪みの生じていない画像内の点を透視歪みの生じた画像内の点に写像する透視歪み関数を算出するステップと、算出された前記透視歪み関数にもとづいて、前記撮影画像の撮影による歪みを補正するステップとを含む。

【0020】

なお、以上の構成要素の任意の組み合わせ、本発明の表現を方法、装置、システム、記録媒体、コンピュータプログラムなどの間で変換したものもまた、本発明の態様として有効である。

【発明の効果】

【0021】

本発明によれば、撮像画像の歪みを高い精度で効率良く補正することができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0022】

実施の形態 1

本発明の実施の形態 1 に係る電子透かしシステムは、図 1 の電子透かし埋め込み装置 100 と図 4 の電子透かし抽出装置 200 とを含み、電子透かし埋め込み装置 100 によって電子透かしの埋め込まれた印刷画像が生成され、電子透かし抽出装置 200 によって印刷画像を撮影して、埋め込まれた電子透かしが抽出される。電子透かし埋め込み装置 100 は、たとえば、チケットやカードの発行に用いられ、電子透かし抽出装置 200 は、チケットやカードの偽造を発見するために用いられる。どちらの装置もネットワーク上の端末からアクセスされるサーバとして構成してもよい。

【0023】

図 1 は、実施の形態 1 に係る電子透かし埋め込み装置 100 の構成図である。これらの構成は、ハードウェア的には、任意のコンピュータの CPU、メモリ、その他の LSI で実現でき、ソフトウェア的にはメモリにロードされた画像処理機能および電子透かし埋め込み機能のあるプログラムなどによって実現されるが、ここではそれらの連携によって実現される機能ブロックを描いている。したがって、これらの機能ブロックがハードウェア

のみ、ソフトウェアのみ、またはそれらの組み合わせによっていろいろな形で実現できることは、当業者には理解されるところである。

【0024】

画像形成部10は、入力されたデジタル画像Iを印刷時の解像度、ここでは横方向（x軸方向ともいう）にW画素、縦方向（y軸方向ともいう）にH画素の解像度に変換する。画像サイズW、Hの一例としては、W=640、H=480である。

【0025】

ブロック埋め込み部12は、画像形成部10によって印刷時の解像度に変換されたデジタル画像Iに透かし情報Xを埋め込む。ここで、ブロック埋め込み部12は、デジタル画像Iを所定サイズの正方ブロックに分割して、ブロックに同一の透かしビットを重複して埋め込む。この透かし情報Xのデジタル画像Iへの埋め込み方式を「ブロック埋め込み方式」と呼び、透かしビットの埋め込まれたデジタル画像Iのブロックを「埋め込みブロック」と呼ぶ。一例として、ブロックサイズNは8である。

【0026】

図2（a）～（d）は、ブロック埋め込み部12によるブロック埋め込み方式を説明する図である。図2（a）は、デジタル画像Iのブロック分割を説明する図である。横W画素、縦H画素をもつデジタル画像Iは、縦横N画素の埋め込みブロック22に分割される。

【0027】

ブロック埋め込み部12は、透かし情報Xを構成する透かしビットの各々を埋め込むための埋め込みブロック22をデジタル画像Iから選択する。ブロック埋め込み部12は、各埋め込みブロック22において、同一の透かしビットを重複して埋め込む。図2（b）は、透かしビットが埋め込まれたデジタル画像Iを説明する図である。同図では、透かし情報Xが透かしビット列（0, 1, 1, 0）で構成されている場合を例に説明する。ブロック埋め込み部12は、デジタル画像Iから第1透かしビット0を埋め込むための埋め込みブロック22a、第2透かしビット1を埋め込むための埋め込みブロック22b、第3透かしビット1を埋め込むための埋め込みブロック22c、第4透かしビット0を埋め込むための埋め込みブロック22dを選択し、これらの埋め込みブロック22a～dにそれぞれの透かしビットを重複して埋め込む。

【0028】

図2（c）は、埋め込みブロック22に埋め込まれる透かしビットを説明する図である。ここでは、ブロックサイズNが4で、透かしビットが1の場合を例に説明する。同図のように、埋め込みブロック22には、透かしビット1が重複して16個埋め込まれる。

【0029】

図2（d）は、透かしビットの抽出時における画素のずれとそれが透かしビットの検出に与える影響を説明する図である。原画像における埋め込みブロック22の理想的な端点23に対して、撮影画像において検出される埋め込みブロック28の実際の端点29が、同図のように横方向に1画素ずれていたとする。この場合でも、原画像の埋め込みブロック22と撮影画像の埋め込みブロック28の重複領域では、同一の透かしビット1が重複して12個検出される。したがって、ブロック全体で多数決により正しい透かしビットの値を検出することが可能である。このようにブロック埋め込み方式により、画素のずれに対する耐性が高まる。

【0030】

印刷部14は、ブロック埋め込み部12により透かし情報Xが埋め込まれたデジタル画像Iを紙やカードなどの印刷媒体に印刷し、印刷画像Pを生成する。なお、同図では、印刷部14は電子透かし埋め込み装置100の構成要素であるが、印刷部14を電子透かし埋め込み装置100の外部に設け、プリンタによって構成してもよく、その場合は、電子透かし埋め込み装置100とプリンタは、周辺機器の接続ケーブルまたはネットワークで接続される。

【0031】

図3は、出力された印刷画像Pを説明する図である。印刷媒体24上に電子透かしの埋め込まれたデジタル画像I（原画像ともいう）が印刷されており、原画像が印刷された領域20（以下、単に原画像領域20という）の周囲には通常、印刷媒体24の余白部分が存在する。

【0032】

図4は、実施の形態1に係る電子透かし抽出装置200の構成図である。撮影部30は、電子透かしの埋め込まれた印刷画像Pまたは格子模様画像Rを撮影して電子化する。プロファイル生成部38は、異なるズーム倍率で撮影された格子模様画像Rの格子点の位置ずれを検出して、画像に生じた歪みの補正情報を生成し、その補正情報をズーム倍率に対応づけてプロファイルデータベース40に登録する。画像補正部34は、印刷画像Pの撮影時のズーム倍率に応じた補正情報をプロファイルデータベース40から選択し、印刷画像Pの撮影画像に生じた歪みを補正する。画像領域判定部32は、歪み補正された撮影画像内の原画像領域20を判定する。透かし抽出部36は、歪み補正された撮影画像内の原画像領域20をブロックに分割して、各ブロックに埋め込まれた透かしビットを検出することにより、透かし情報Xを抽出する。これらの構成も、CPU、メモリなどのハードウェア、画像処理機能および電子透かし抽出機能のあるソフトウェアの任意の組み合わせによっていろいろな形で実現することができる。

【0033】

電子透かし抽出装置200におけるプロファイル生成部38、画像補正部34、およびプロファイルデータベース40は、本発明の画像補正装置の一例である。

【0034】

撮影部30は、電子透かし埋め込み装置100により生成された印刷画像Pを撮影し、印刷画像Pをデジタル化する。同図では、撮影部30は電子透かし抽出装置200の構成要素であるが、撮影部30を電子透かし抽出装置200の外部に設け、デジタルカメラやスキャナによって構成してもよく、その場合は、電子透かし抽出装置200と、デジタルカメラまたはスキャナは、周辺機器の接続ケーブルまたはネットワークで接続される。特にデジタルカメラに無線通信機能がある場合は、デジタルカメラで取り込まれた撮影画像が無線で電子透かし抽出装置200に送信される。

【0035】

図5は、撮影された印刷画像Pを説明する図である。撮影部30は、印刷画像Pを撮影するとき、印刷媒体24の原画像領域20全体を撮影するが、通常、原画像領域20の周囲の余白部分も撮影する。すなわち撮影領域26は、一般に、印刷媒体24上で原画像領域20よりも広い範囲である。このように撮影部30による撮影画像には、印刷媒体24の余白部分も含まれているため、撮影画像の歪み補正をした後、原画像領域20の切り出しが必要となる。

【0036】

画像補正部34は、撮影画像全体の歪み補正を行う。撮影部30によって印刷画像Pを取り込む際、撮影画像にはレンズ歪みや透視歪みが生じる。画像補正部34は、埋め込まれた電子透かしの正確に抽出できるように、画像に生じた歪みを補正する。歪み補正には、プロファイルデータベース40に格納された歪みを補正するための関数が利用される。

【0037】

画像領域判定部32は、画像補正部34により歪み補正された撮影画像にエッジ抽出処理などを施して原画像の領域を判定する。これにより、図5の撮影領域26から余白部分を取り除いた原画像領域20が切り出される。

【0038】

透かし抽出部36は、画像領域判定部32により判定された原画像領域20を縦横N画素のブロックに分割して、各ブロックから透かしビットを検出することにより、透かし情報Xを抽出する。ブロック埋め込み方式で埋め込まれた透かしビットを検出する際、埋め込みブロックに歪みがあると、透かしの検出が困難になるが、画像補正部34により歪みが補正されているため、透かしの検出精度が保証される。また、仮に、歪み補正後に画素

のずれが多少残っていたとしても、各ブロックには透かしビットが重複して埋め込まれているため、誤り訂正が可能である。

【0039】

図6は、撮影による画素のずれを説明する図である。原画像の埋め込みブロック50に対して、撮影画像の埋め込みブロック60が同図のようにずれているとする。原画像の埋め込みブロック50における端点52に対して、撮影画像の埋め込みブロック60の端点62は、縦横に1画素ずつずれている。このような状況でも、原画像の埋め込みブロック50と撮影画像の埋め込みブロック60の重複領域では、同一の透かしビット（ここでは1で示す）が重複して検出されるので、透かし抽出部36は、ブロック全体で透かしビットの誤り訂正をして、正しい透かしビットを検出することができる。

【0040】

図7は、プロファイル生成部38および画像補正部34の詳細な構成を説明する図である。プロファイル生成部38は、透視歪み関数算出部80、レンズ歪み関数対算出部82、およびレンズ歪み関数対登録部84を含む。画像補正部34は、レンズ歪み関数対選択部86およびレンズ歪み補正処理部88を含む。

【0041】

まず、補正情報のプロファイルデータベース40への登録について説明する。レンズ歪みを測定するために、撮影部30は、格子模様画像Rを撮影し、プロファイル生成部38に与える。ズームレンズを利用して撮影する場合は、ズーム倍率を変えて、複数の画角 θ_i のもとで、格子模様画像Rを撮影する。プロファイル生成部38の透視歪み関数算出部80は、格子模様画像Rの画像領域の入力を受け、格子模様画像Rの模様の交点の透視歪みによる位置ずれを検出することにより、透視歪みの生じていない画像内の点を透視歪みの生じた画像内の点に写像する透視歪み関数 g を算出する。

【0042】

レンズ歪み関数対算出部82は、透視歪み関数算出部80が算出した透視歪み関数 g の入力を受け、透視歪みを考慮した上で、格子模様画像Rの模様の交点のレンズ歪みによる位置ずれを検出することにより、画角 θ_i のもとでのレンズ歪み補正関数 f_i およびレンズ歪み関数 f_i^{-1} を算出する。ここでレンズ歪み補正関数 f_i は、レンズ歪みの生じた画像内の点をレンズ歪みの生じていない画像内の点に写像するものである。レンズ歪み関数 f_i^{-1} は、レンズ歪み補正関数 f_i の逆関数であり、レンズ歪みの生じていない画像内の点をレンズ歪みの生じた画像内の点に写像するものである。レンズ歪み補正関数 f_i とレンズ歪み関数 f_i^{-1} の組をレンズ歪み関数対 (f_i, f_i^{-1}) と呼ぶ。

【0043】

レンズ歪み関数対登録部84は、レンズ歪み関数対算出部82により算出されたレンズ歪み関数対 (f_i, f_i^{-1}) を画角 θ_i に対応付けてプロファイルデータベース40に登録する。

【0044】

次に、上記のプロファイルデータベース40を利用した画像の補正について説明する。撮影部30は撮影した印刷画像Pを画像補正部34に与える。画像補正部34のレンズ歪み関数対選択部86は、印刷画像Pの撮影画像の入力を受け、画像情報から撮影時の画角 θ を判定し、プロファイルデータベース40から撮影時の画角 θ に対応するレンズ歪み関数対 (F, F^{-1}) を選択し、レンズ歪み補正処理部88にレンズ歪み関数 F^{-1} を与える。レンズ歪み補正処理部88は、レンズ歪み関数 F^{-1} を用いて、撮影画像全体のレンズ歪みを補正し、補正後の撮影画像を画像領域判定部32に与える。

【0045】

図8(a)、(b)は、画角とズームレンズの焦点距離との関係を説明する図である。図8(a)は被写体90にレンズ94のピントが合っている状態を示し、被写体90の頂点Vは、CCD96の撮像面では被写体の像の頂点 v に対応している。ここで主点95はレンズ94の中心であり、焦点距離 f は、レンズの法線方向に入射した平行光が1点に収束する点（焦点という）と主点95までの距離である。光軸92は、主点95を通りレン

ズ 94 の法線方向を傾きとしてもつ直線である。光軸 92 と、主点と被写体 90 の頂点 V を結ぶ直線とがなす角度 ω を半画角といい、 ω の 2 倍を画角という。以下では、半画角 ω を単に「画角」と呼ぶ。

【0046】

ピントを合わせたい被写体 90 の高さを Y とし、CCD 96 の撮像面に写っている被写体の像の高さを y とする。倍率 m は、被写体 90 の実際の高さ Y に対する CCD 96 に撮像される被写体の像の高さ y の割合であり、 $m = y / Y$ で求められる。ここで、ピントが完全に合っている状態を次のように定義する。

【0047】

定義 1 被写体にピントが完全に合っている

被写体にピントが完全に合っているとは、被写体の頂点と CCD 面に写った被写体の像の頂点を結ぶ直線が主点を通っており、かつ、主点から CCD 面までのレンズに対する法線方向の距離が焦点距離に等しいことをいう。

【0048】

定義 1 の意味でピントが完全に合っている状態において、光軸 92 と CCD 96 の撮像面が交わる点をピント中心 98 と呼ぶ。

【0049】

レンズは、大きく分けて単焦点レンズとズームレンズの 2 種類に分類される。単焦点レンズでは焦点距離 f の変更が不可能である。これに対し、ズームレンズでは、2 枚以上のレンズの組合せにより構成されていて、レンズ間の距離や各レンズの CCD 96 の撮像面からの距離を調節することで、焦点距離 f や主点などを自由に変更することができる。ズームレンズを用いた被写体の倍率変更を説明する。まず、倍率の変更を次のように定義する。

【0050】

定義 2 倍率の変更

倍率の変更とは、被写体面と CCD 面との距離を変更せず、ピントが完全に合った状態を維持したまま、CCD 面に写っている被写体の像の高さを変更することをいう。

【0051】

ここで、「被写体面と CCD 面との距離を変更しない」点と、「ピントが完全に合った状態を維持している」点が重要である。たとえば、カメラを持った人が被写体から遠ざかることにより、CCD 面に写る像は小さくなるが、これは被写体面と CCD 面間の距離が変化しているから、倍率の変更ではない。

【0052】

定義 1 および 2 にしたがって、レンズ 94 の焦点距離を f から f' に変更し、倍率を変えた例を図 8 (b) に示す。焦点距離の変更により、レンズ 94 の主点 97 が移動する。被写体 90 の頂点 V と CCD 96 の撮像面に写った被写体の像の頂点 v' を結ぶ直線は、焦点距離変更後のレンズ 94 の主点 97 を通っている。被写体 90 と CCD 96 間の距離は、図 8 (a) と同じであり、定義 1 の意味においてピントが完全に合っている。

【0053】

このとき、CCD 96 の撮像面に写る被写体の像の高さは y から y' ($> y$) に変わり、倍率が $m = y' / Y$ に変更された。またこのとき、画角も ω から ω' ($> \omega$) に変更される。なお、実際のカメラではズームレンズは 2 枚以上のレンズの組み合わせにより構成されており、レンズ間の距離や各レンズの CCD 面からの距離を調節することで、焦点距離と主点の位置を調整し、倍率を変更する。

【0054】

補正対象となるレンズ歪みあるいは歪曲収差は、画角 ω に依存することが知られている。この性質は、岸川利郎著「光学入門」(オプトロニクス社、1990 年)に記されている。焦点距離が変更不可能な単焦点レンズの場合、画角が変わることはないため、レンズ歪み関数対は 1 つだけ用意して、プロファイルデータベース 40 に登録しておけばよい。一方、ズームレンズの場合は、ピントが完全に合った状態を保ちつつ、倍率を変更し、い

ろいろな画角 θ_i のもとで、レンズ歪み関数対 (f_i, f_i^{-1}) を求め、プロファイルデータベース 40 に登録しておく必要がある。

【0055】

図 9 (a)、(b) は、プロファイルデータベース 40 に格納されるレンズ歪み関数対を説明する図である。図 9 (a) は、単焦点レンズの場合のレンズ歪み関数対のデータベースの構造を示す。単焦点レンズの場合、カメラの機種名にレンズ歪み関数対を対応づけて格納したテーブル 42 がプロファイルデータベース 40 に設けられる。ここでは、機種名 A には、レンズ歪み関数対 (f_A, f_A^{-1}) が対応づけられ、機種名 B には、レンズ歪み関数対 (f_B, f_B^{-1}) が対応づけられている。

【0056】

図 9 (b) は、ズームレンズの場合のレンズ歪み関数対のデータベースの構造を示す。ズームレンズの場合、カメラの機種名にカメラの CCD の対角長とレンズ歪み関数対テーブルへのポインタを対応づけて格納したテーブル 44 がプロファイルデータベース 40 に設けられる。ここでは、機種名 A に CCD の対角長 d_A とレンズ歪み関数対テーブル 46 へのポインタが対応づけられている。

【0057】

レンズ歪み関数対テーブル 46 は、機種名 A のカメラのズームレンズの倍率を変化させた場合の画角をラベル付けし、ラベル i 、画角 θ_i 、レンズ歪み関数対 (f_i, f_i^{-1}) を対応づけて格納したものである。このレンズ歪み関数対テーブル 46 は、画角の代わりに、焦点距離またはズーム倍率に対応づけてレンズ歪み関数対 (f_i, f_i^{-1}) を格納するものであってもよい。

【0058】

図 10 は、電子透かし抽出装置 200 によるプロファイルデータベース 40 の生成手順を説明する図である。

【0059】

プロファイル生成部 38 は、変数 i を 0 に初期化し、定数 M の値を $M = (Max - Min) / r$ により求める (S200)。ここで、 Min 、 Max はそれぞれズームレンズの最小倍率、最大倍率であり、 r は倍率を変更するときの最小単位である。単焦点レンズの場合は、 $M = 0$ とする。

【0060】

撮影部 30 は、格子模様画像 R を撮影する (S202)。図 11 は、校正パターンとして用いられる格子模様画像 R を説明する図である。格子模様画像 R は、一例として、市松模様であり、縦横 L 画素のサイズの格子模様で構成される。格子模様画像 R の格子サイズ L は、電子透かし埋め込み装置 100 による透かしのブロック埋め込み方式におけるブロックサイズ N と同程度のサイズである。一例として、ブロックサイズ N が 8 である場合、格子サイズ L も 8 程度とすればよい。なお、ブロックサイズ N は、当該電子透かしシステムで統一的に決められているか、何らかの形で電子透かし抽出装置 200 側に通知されているものとする。

【0061】

格子模様画像 R の撮影は以下の条件のもとで行われる。

〔撮影条件〕

- (1) 格子模様画像 R の CCD 面上における像の高さが、撮影機器固有の値である CCD の対角長 d と等しくなるようにする。言い換えれば、CCD 面全体に格子模様画像 R が撮像され、撮影機器の表示画面全体に格子模様画像 R が表示されるようにする。
- (2) 定義 1 の意味において格子模様画像 R を含む平面にピントが完全に合っているようにする。

【0062】

格子模様画像 R をカメラで撮影する場合、正確に真上から撮影することは難しく、光軸のずれにより透視歪みが生じる。そこで、まず透視歪みを補正する処理が行われる。

【0063】

透視歪み関数算出部 80 は、格子模様画像 R の撮影画像における格子模様の交点の撮像位置を検出する (S204)。検出された格子模様の交点の個数を N とし、各交点の座標を (X_k, Y_k) ($k=0, \dots, N-1$) とする。

【0064】

次に、透視歪み関数算出部 80 は、検出された各交点 (X_k, Y_k) ($k=0, \dots, N-1$) に対応する格子模様画像 R におけるパターン位置 (m_k, n_k) ($k=0, \dots, N-1$) を決定する (S206)。パターン位置 (m_k, n_k) とは、歪みの生じていない格子模様画像 R における格子模様の交点の座標である。格子模様画像 R の格子配列が既知であることより、格子模様画像 R の撮影画像上の交点の座標 (X_k, Y_k) に対応するパターン位置 (m_k, n_k) は容易に決定できる。

【0065】

透視歪み関数算出部 80 は、格子模様画像 R の撮影画像上の交点の位置 (X_k, Y_k) とそれに対応するパターン位置 (m_k, n_k) の関係をもとにして、透視歪み関数 g を算出する (S208)。ここで、透視歪み関数 g を求める際、交点の全部は利用せずに、格子模様画像 R の撮影画像の中心に近い交点のみを用いる。たとえば、中心付近の交点として、全体の $1/4$ の交点を用いる。これは、中心に近い部分は、レンズ歪みの影響が少なく、透視歪み関数 g を正確に求めることができるからである。

【0066】

格子模様画像 R の撮影画像上の交点の撮像位置 (X_k, Y_k) とそれに対応するパターン位置 (m_k, n_k) の間には、次のような関係があることが知られている。この性質は、金谷健一著「画像理解 3次元認識の数理」(森北出版株式会社、1990年)に記されている。

【0067】

$$X_k = (c m_k + d n_k + e) / (a m_k + b n_k + 1)$$

$$Y_k = (f m_k + g n_k + h) / (a m_k + b n_k + 1)$$

【0068】

対応する点の組 $\{(X_k, Y_k)\}$, $\{(m_k, n_k)\}$, $k=0, \dots, (N-1)/4$ が与えられたとき、上記の関係式の係数 $a \sim h$ を求めるために次の最小二乗法を用いる。

【0069】

$$J = \sum_{k=0}^{(N-1)/4} [(X_k (a m_k + b n_k + 1) - (c m_k + d n_k + e))^2 + (Y_k (a m_k + b n_k + 1) - (f m_k + g n_k + h))^2] \rightarrow \min$$

【0070】

上式において、 $\partial J / \partial a = 0, \dots, \partial J / \partial h = 0$ を解くことにより、 J が最小となる係数 $a \sim h$ を求めることができる。

【0071】

このようにして、パターン位置 (m_k, n_k) を格子模様画像 R の撮影画像上の交点の基準位置 (X_k', Y_k') に写像する透視歪み関数 g が得られる。

$$(X_k', Y_k') = g(m_k, n_k), \quad k=0, \dots, N-1$$

【0072】

次に、算出された透視歪み関数 g にもとづいて、レンズ歪み関数対を求める処理が行われる。レンズ歪み関数対算出部 82 は、算出された透視歪み関数 g を用いて、すべてのパターン位置 (m_k, n_k) ($k=0, \dots, N-1$) を写像し、基準位置 (X_k', Y_k') ($k=0, \dots, N-1$) を求める。

【0073】

格子模様画像 R の撮影画像上の交点の撮像位置 (X_k, Y_k) は、透視歪みとレンズ歪みの両方の影響を受けて元の位置からずれているが、パターン位置 (m_k, n_k) を透視歪み関数 g で写像した基準位置 (X_k', Y_k') は、透視歪みの影響のみを受けて元の位置からずれている。したがって、基準位置 (X_k', Y_k') と撮影画像上の交点の撮像位置 (X_k, Y_k) のずれは、レンズ歪みによるものであり、両者の関係を調べるこ

により、レンズ歪みを解消するためのレンズ歪み補正関数 f_i を求めることができる。

【0074】

レンズ歪み関数対算出部 82 は、対応する点の組 $\{(X_k', Y_k')\}$, $\{(X_k, Y_k)\}$ ($k=0, \dots, N-1$) に対して、次の多項式によりレンズ歪み補正関数 f_i を算出する (S210)。

【0075】

$$\begin{aligned} X_k' &= a_1 X_k^4 + b_1 X_k^3 Y_k + c_1 X_k^2 Y_k^2 + d_1 X_k Y_k^3 + e_1 Y_k^4 \\ &+ g_1 X_k^3 + h_1 X_k^2 Y_k + i_1 X_k Y_k^2 + j_1 Y_k^3 + k_1 X_k^2 + l_1 X_k \\ &+ m_1 Y_k + n_1 X_k + o_1 Y_k + p_1 \\ Y_k' &= a_2 X_k^4 + b_2 X_k^3 Y_k + c_2 X_k^2 Y_k^2 + d_2 X_k Y_k^3 + e_2 Y_k^4 \\ &+ g_2 X_k^3 + h_2 X_k^2 Y_k + i_2 X_k Y_k^2 + j_2 Y_k^3 + k_2 X_k^2 + l_2 X_k \\ &+ m_2 Y_k + n_2 X_k + o_2 Y_k + p_2 \end{aligned}$$

【0076】

ここで、各係数 $a_1 \sim p_1$, $a_2 \sim p_2$ は次の最小二乗法により算出される。

$$J = \sum_{k=0}^{N-1} \left[(X_k' - (a_1 X_k^4 + b_1 X_k^3 Y_k + c_1 X_k^2 Y_k^2 + d_1 X_k Y_k^3 + e_1 Y_k^4 + g_1 X_k^3 + h_1 X_k^2 Y_k + i_1 X_k Y_k^2 + j_1 Y_k^3 + k_1 X_k^2 + l_1 X_k Y_k + m_1 Y_k^2 + n_1 X_k + o_1 Y_k + p_1))^2 \right. \\ \left. + (Y_k' - (a_2 X_k^4 + b_2 X_k^3 Y_k + c_2 X_k^2 Y_k^2 + d_2 X_k Y_k^3 + e_2 Y_k^4 + g_2 X_k^3 + h_2 X_k^2 Y_k + i_2 X_k Y_k^2 + j_2 Y_k^3 + k_2 X_k^2 + l_2 X_k Y_k + m_2 Y_k^2 + n_2 X_k + o_2 Y_k + p_2))^2 \right] \rightarrow \min$$

【0077】

このようにして、撮影画像上の交点の位置 (X_k, Y_k) と基準位置 (X_k', Y_k') の関係を示すレンズ歪み補正関数 f_i が得られる。画像補正時に双方向の演算が必要になることから、レンズ歪み補正関数 f_i の逆関数であるレンズ歪み関数 f_i^{-1} も求めておく。

$$\begin{aligned} (X_k', Y_k') &= f_i(X_k, Y_k), \quad k=0, \dots, N-1 \\ (X_k, Y_k) &= f_i^{-1}(X_k', Y_k'), \quad k=0, \dots, N-1 \end{aligned}$$

【0078】

図12は、レンズ歪み関数対 (f_i, f_i^{-1}) を説明する図である。一般に、レンズの歪曲収差により撮影された画像は樽型や糸巻き型に変形する。撮影によりレンズ歪みの生じた画像300は、レンズ歪み補正関数 f_i により、レンズ歪みのない画像310に変換される。逆に、レンズ歪みのない画像310は、レンズ歪み関数 f_i^{-1} により、レンズ歪みの生じた画像300に変換される。

【0079】

再び図10を参照する。レンズ歪み関数対算出部 82 は、撮影時の画角 θ_i を焦点距離 f_i と CCD 面の対角長 d を用いて、次式により求める (S212)。格子模様画像 R の撮影画像が EXIF (Exchangeable Image File Format) で与えられた場合、画像データに含まれる EXIF 情報から撮影時の焦点距離 f_i を取得することができる。

$$\theta_i = (1/2) \tan^{-1}(d/2f_i)$$

【0080】

レンズ歪み関数対登録部 84 は、レンズ歪み関数対 (f_i, f_i^{-1}) を画角 θ_i に対応づけてプロファイルデータベース 40 に登録する (S214)。

【0081】

変数 i を 1 だけインクリメントし (S216)、変数 i が M より小さい場合 (S218 の Y)、ステップ S202 に戻って、ズーム倍率を 1 段階上げた状態で格子模様画像 R を再度撮影し、透視歪み関数 g とレンズ歪み関数対 (f_i, f_i^{-1}) を算出する処理を行う。変数 i が M より小さくなくなった場合 (S218 の N)、プロファイルデータベース 40 の生成処理を終了する。

【0082】

これにより、単焦点レンズの場合は、1つのレンズ歪み関数対 (f, f^{-1}) がプロフ

ファイルデータベース40に登録され、ズームレンズの場合は、各倍率に対して、画角 θ_i とレンズ歪み関数対 (f_i, f_i^{-1}) が対応づけられてプロファイルデータベース40に登録される。

【0083】

以上の構成による電子透かし抽出装置200による電子透かし抽出手順を説明する。

【0084】

図13は、電子透かし抽出手順の全体的な流れを示すフローチャートである。撮影部30は印刷画像Pを撮影する(S10)。画像補正部34は、補正回数counterを初期化して、counter=0とする(S12)。

【0085】

画像補正部34は、撮影部30による印刷画像Pの撮影画像に対して、後に詳述する画像補正処理を行う(S14)。以下では、歪みが生じている補正対象の画像を「補正対象画像」と呼び、補正目標となる歪みが生じていない状態の画像を「補正目標画像」と呼ぶ。画像補正処理S14は、プロファイルデータベース40に格納されたレンズ歪み関数によって、補正目標画像の座標 (i, j) を補正対象画像の座標 (x_{ij}, y_{ij}) に変換し、座標 (x_{ij}, y_{ij}) における輝度値をバイリニア補間などにより求め、補正目標画像の元の座標 (i, j) における輝度値として設定するものである。

【0086】

画像領域判定部32は、画像補正部34により歪み補正された撮影画像の原画像領域20を判定する(S15)。透かし抽出部36は、画像領域判定部32により判定された原画像領域20から透かし情報Xを検出する処理を行う(S16)。この透かし検出処理は、原画像領域20のブロック単位で透かしビットを検出することで行われる。透かし抽出部36は、意味のある透かし情報Xが得られたかどうかを調べ、透かし検出の成否を判定する(S18)。

【0087】

透かし検出に成功した場合(S18のY)、終了する。透かし検出に失敗した場合(S18のN)、補正回数counterを1だけインクリメントし(S20)、ステップS14に戻り、画像補正処理をやり直し、再度透かしの検出を試みる。透かし検出に失敗した場合、閾値などのパラメータを調整して、プロファイルデータベース40からレンズ歪み関数を再選択して画像補正処理を行い、透かし検出を再度試みる。透かし検出が成功するまで、補正回数counterをインクリメントしながら、画像補正と透かし検出の処理を繰り返す。

【0088】

図14は、図13の画像補正処理S14の大まかな流れを示すフローチャートである。画像補正部34は、印刷画像Pの撮影画像全体を補正対象画像とし、補正目標画像の画像サイズ(W, H)を設定する(S30)。撮影画像は、歪み補正により最終的に横方向W画素、縦方向H画素の画像に変換される。

【0089】

画像補正部34のレンズ歪み関数対選択部86は、プロファイルデータベース40に問い合わせを行い、撮影時の画角に対応したレンズ歪み関数対を取得する(S34)。レンズ歪み補正処理部88は、レンズ歪み関数対選択部86により取得されたレンズ歪み補正関数を用いて、画像補正メイン処理を行う(S38)。

【0090】

図15は、図14のレンズ歪み関数対の選択S34の詳細な手順を示すフローチャートである。まず、レンズ歪み関数対選択部86は、撮影に使われたカメラのレンズがズームかどうかを判定する(S50)。これは補正対象画像に含まれるEXIF情報に焦点距離に関する項目があるかどうかで判定することができる。

【0091】

ズームレンズでない場合(S50のN)、レンズ歪み関数対選択部86は、撮影に使われたカメラの機種名を補正対象画像のEXIF情報から取得し、機種名をキーとしてプロ

ファイルデータベース 40 に問い合わせを行い、機種名に対応づけられたレンズ歪み関数対を取得し (S52)、終了する。

【0092】

ズームレンズである場合 (S50のY)、レンズ歪み関数対選択部 86 は、補正対象画像に含まれる EXIF 情報より画角 θ を算出する (S54)。画角 θ の算出は、次の前提条件が成立するものとして行われる。

【0093】

[前提条件]

被写体にピントが完全に合っている。

【0094】

すなわち、ピントの合っていない写真は補正の対象としない。上記の前提条件のもとで、レンズ歪み関数対選択部 86 は、プロファイルデータベース 40 からカメラの CCD の対角長 d を取得し、補正対象画像の EXIF 情報から撮影時の焦点距離 f を取得し、画角 θ を次式により算出する。

$$\theta = (1/2) \tan^{-1} (d/2f)$$

【0095】

レンズ歪み関数対選択部 86 は、EXIF 情報から得られる機種名と、ステップ S54 で算出された画角 θ をキーとしてプロファイルデータベース 40 を検索し、プロファイルデータベース 40 に登録されている画角 θ_i と算出された画角 θ の差分 $|\theta - \theta_i|$ が最も小さいラベル i に対応するレンズ歪み関数対 (f_i, f_i^{-1}) を選択し (S58)、終了する。

【0096】

このようにして、レンズ歪み関数対選択部 86 がプロファイルデータベース 40 から取得したレンズ歪み関数対を以下 (F, F^{-1}) と書く。

【0097】

図 16 は、図 14 の画像補正メイン処理 S38 の詳細な手順を示すフローチャートである。レンズ歪み補正処理部 88 は、補正目標画像の y 座標値 j を 0 に初期化する (S80)。次に、補正目標画像の x 座標値 i を 0 に初期化する (S82)。

【0098】

レンズ歪み補正処理部 88 は、レンズ歪み関数 F^{-1} によって、補正目標画像における点 $P(i, j)$ を補正対象画像内の点 $Q(x_{ij}, y_{ij})$ に写像する (S86)。

$$(x_{ij}, y_{ij}) = F^{-1}(i, j)$$

【0099】

図 17 は、補正目標画像内の点が補正対象画像内の点に写像される様子を説明する図である。補正目標画像 320 は、レンズ歪みの生じていない画像であり、補正対象画像 340 は、レンズ歪みの生じた画像である。補正目標画像 320 における点 $P(i, j)$ は、レンズ歪み関数 F^{-1} により、補正対象画像 340 における点 $Q(x_{ij}, y_{ij})$ に写像される。

【0100】

レンズ歪み補正処理部 88 は、点 $Q(x_{ij}, y_{ij})$ における輝度値 $L(x_{ij}, y_{ij})$ を周辺の画素の輝度値によりバイリニア (bi-linear) 補間法などによって補間し、算出された輝度値 $L(x_{ij}, y_{ij})$ を補正目標画像の点 $P(i, j)$ における輝度値として設定する (S88)。

【0101】

図 18 は、レンズ歪み関数 F^{-1} による写像先の点 $Q(x_{ij}, y_{ij})$ における輝度値 $L(x_{ij}, y_{ij})$ の算出方法を説明する図である。点 $Q(x_{ij}, y_{ij})$ の近傍に 4 画素 p, q, r, s があり、それらの座標がそれぞれ (x', y') 、 $(x', y' + 1)$ 、 $(x' + 1, y')$ 、 $(x' + 1, y' + 1)$ であるとする。点 Q から辺 pr 、辺 qs に下ろした垂線の足をそれぞれ点 e, f とし、点 Q から辺 pq 、辺 rs に下ろした垂線の足を点 g, h とする。

【0102】

点Qは、線分efを内分比 $v : (1-v)$ で分け、線分ghを内分比 $w : (1-w)$ で分ける点である。点Qにおける輝度値 $L(x_{ij}, y_{ij})$ を4点p、q、r、sの輝度値 $L(x', y')$ 、 $L(x', y'+1)$ 、 $L(x'+1, y')$ 、 $L(x'+1, y'+1)$ を用いたバイリニア補間により次式のように求める。

【0103】

$$L(x_{ij}, y_{ij}) = (1-v) \times \{ (1-w) \times L(x', y') + w \times L(x', y'+1) \} + v \times \{ (1-w) \times L(x'+1, y') + w \times L(x'+1, y'+1) \}$$

【0104】

ここでは、点Qの輝度値をバイリニア補間により近傍の4画素の輝度値から補間して求めたが、補間方法はこれに限られない。また、4画素以上の点を用いて補間してもよい。

【0105】

図16を参照し、ステップS88の処理の後、x座標値iを1だけインクリメントする(S90)。x座標値iが補正目標画像の幅Wよりも小さいなら(S92のN)、ステップS86に戻り、x軸方向に座標値を進めながら、画素の輝度値を求める処理を繰り返す。

【0106】

x座標値iが補正目標画像の幅W以上なら(S92のY)、現在のy座標値jのもとでのx軸方向の画素の輝度値が得られたので、次に、y座標値jを1だけインクリメントする(S94)。y座標値jが補正目標画像の高さH以上なら(S96のY)、補正目標画像のすべての画素について補間により輝度値が得られたので、終了する。y座標値jが補正目標画像の高さHよりも小さいなら(S96のN)、ステップS82に戻り、x座標値を再び0に初期化し、新しいy座標値jのもとでx軸方向に座標値を進めながら、画素の輝度値を求める処理を繰り返す。

【0107】

図19は、図13の画像領域判定処理S15の詳細な手順を示すフローチャートである。画像領域判定部32は、画像補正部34によりレンズ歪みが補正された画像から特徴点を抽出し、画像サイズ(w, h)を算出する(S120)。

【0108】

図20は、レンズ歪み補正画像350から特徴点が抽出される様子を説明する図である。同図の補正目標画像322は、レンズ歪み補正画像350の原画像領域20に対応する画像であり、幅W、高さHの大きさである。画像領域判定部32は、レンズ歪み補正画像350の特徴点として、黒丸で示した原画像領域20の4隅の頂点や各辺上の点を検出する。レンズ歪み補正画像350は画像補正部34によりレンズ歪みが除去されているため、4辺は直線になっているため、エッジ抽出処理などによる検出が容易であり、検出された特徴点列から4隅の頂点の座標値 (x_0, y_0) 、 (x_1, y_1) 、 (x_2, y_2) 、 (x_3, y_3) を正確に求めることができる。これら4隅の頂点の座標値を用いて、原画像領域20の幅w、高さhを次式により算出することができる。

$$w = x_2 - x_0 = x_3 - x_1$$

$$h = y_1 - y_0 = y_3 - y_2$$

【0109】

画像領域判定部32は、補正目標画像のy座標値jを0に初期化する(S122)。次に、補正目標画像のx座標値iを0に初期化する(S124)。

【0110】

画像領域判定部32は、図20に示すように、補正目標画像の点P(i, j)を次式によりレンズ歪み補正画像内の点Q (x_{ij}, y_{ij}) に写像する(S126)。

$$x_{ij} = i \times w / (W-1) + x_0$$

$$y_{ij} = j \times h / (H-1) + y_0$$

【0111】

画像領域判定部 32 は、点 $Q(x_{ij}, y_{ij})$ における輝度値 $L(x_{ij}, y_{ij})$ を周辺の画素の輝度値によりバイリニア補間法などによって補間して算出し、算出された輝度値 $L(x_{ij}, y_{ij})$ を補正目標画像の点 $P(i, j)$ における輝度値として設定する (S128)。

【0112】

画像領域判定部 32 は、 x 座標値 i を 1 だけインクリメントする (S130)。 x 座標値 i が補正目標画像の幅 W よりも小さいなら (S132 の N)、ステップ S126 に戻り、 x 軸方向に座標値を進めながら、画素の輝度値を求める処理を繰り返す。

【0113】

x 座標値 i が補正目標画像の幅 W 以上なら (S132 の Y)、現在の y 座標値 j のもとでの x 軸方向の画素の輝度値が得られたので、次に、 y 座標値 j を 1 だけインクリメントする (S134)。 y 座標値 j が補正目標画像の高さ H 以上なら (S136 の Y)、補正目標画像のすべての画素について補間により輝度値が得られたので、終了する。 y 座標値 j が補正目標画像の高さ H よりも小さいなら (S136 の N)、ステップ S124 に戻り、 x 座標値を再び 0 に初期化し、新しい y 座標値 j のもとで x 軸方向に座標値を進めながら、画素の輝度値を求める処理を繰り返す。

【0114】

本実施の形態の変形例を説明する。図 15 のレンズ歪み関数対の選択 S34 において、現実には、被写体にピントが完全に合っているという前提条件が成り立つことは難しく、ステップ S54 で算出される画角 θ には誤差が生じる。また、レンズ歪み関数算出時に誤差が生じている場合もある。これらシステムの誤差の影響により、算出された画角 θ に対応するレンズ歪み関数対をプロファイルデータベース 40 から選択しても、必ずしも最適なものではない。そこで算出された画角 θ をキーとし、プロファイルデータベース 40 への問い合わせ方法をシステムの要求や電子透かしの埋め込み方法に応じて次の 2 通りの方法から選択する。

【0115】

[速度優先システム向け選択方法]

上記のシステムの誤差を許容できる場合の方法であり、処理速度を優先し、図 15 のステップ S58 のように、単純にプロファイルデータベース 40 に登録されている画角 θ_i と算出された画角 θ の差分 $|\theta - \theta_i|$ が最も小さいラベル i に対応するレンズ歪み関数対 (f_i, f_i^{-1}) を選択する。

【0116】

[精度優先システム向け選択方法]

システムの誤差を許容できない場合の方法であり、算出された画角 θ を基準として、プロファイルデータベース 40 から複数のレンズ歪み関数対の候補を取得し、どのレンズ歪み関数対がもっとも精度よく画像を補正できるかを事前評価し、評価のもっとも良いレンズ歪み関数対を選択する。

【0117】

たとえば、速度優先システム向け選択方法は、透かしの埋め込みブロックのサイズ N が大きく、システムの誤差の影響が小さいときに利用され、精度優先システム向け選択方法は、透かしの埋め込みブロックのサイズ N が小さく、システムの誤差の影響が大きいときに利用される。もしくは、本発明の適用先アプリケーションの性質によって指定してもよい。例えばアミューズメント向けのアプリケーションに適用されている場合は、透かし検出率よりも反応速度が優先されるため、速度優先が選択される。また、精度優先が選択されるアプリケーションとしてチケットの認証システムなどが考えられる。

【0118】

図 21 は、速度優先システム向け選択方法と精度優先システム向け選択方法を切り替え可能なレンズ歪み関数対の選択 S34 の詳細な手順を示すフローチャートである。図 15 と違う点のみ説明する。レンズ歪み関数対選択部 86 は、速度優先かどうかを判定する (S56)。たとえば、レンズ歪み関数対選択部 86 は、透かしの埋め込みブロックのサイ

ズNの大小によって、自動的に速度優先、精度優先のいずれかを選択する。別の方法として、ユーザが速度優先モードか精度優先モードのいずれかを指定してもよい。

【0119】

速度優先である場合（S56のY）、図15と同様にステップS58が実行される。速度優先でない場合（S56のN）、補正関数の事前評価がなされる（S60）。

【0120】

図22は、図21の補正関数の事前評価S60の詳細な手順を示すフローチャートである。レンズ歪み関数対選択部86は、プロファイルデータベース40に登録されている画角 θ_i と算出された画角 θ の差分 $|\theta - \theta_i|$ が最も小さいラベル i を含めて、その前後のN個のラベルのレンズ歪み補正関数 f_j （ $j = 0, 1, \dots, N-1$ ）を候補として取得する（S62）。

【0121】

補正対象画像においてM個の特徴点を定め、補正対象画像の特徴点間のP個のサンプル点列（ X_m, Y_m ）（ $m = 0, 1, \dots, P-1$ ）を取得する（S64）。一例として、長方形の補正対象画像の場合、特徴点は4隅の頂点であり、特徴点間のサンプル点列は、隣り合う頂点を結ぶ各辺上でサンプルされた点列である。ここでサンプル点列には両端の特徴点を含むものとする。すなわち、（ X_0, Y_0 ）、（ X_{P-1}, Y_{P-1} ）はそれぞれ特徴点である。また、別の例として、補正対象画像内の人物などのオブジェクトのエッジ上の点列をサンプル点列としてもよい。たとえば、人物の顔や目の輪郭上にサンプル点列を設けてもよい。

【0122】

サンプル点の個数Pは、市松模様などの格子模様画像Rの格子サイズLを基準として定められ、たとえばLの値は、16、32などである。M個の特徴点の中から2個の特徴点を選び、その2個の特徴点間でサンプル点列を決めるため、最大 $M C_2$ の特徴点の組み合わせがありうるが、特徴点を結んだ線の形状が既知である場合に限られる。

【0123】

変数jを0に初期化する（S66）。サンプル点列（ X_m, Y_m ）（ $m = 0, 1, \dots, P-1$ ）をレンズ歪み補正関数 f_j により写像する（S68）。レンズ歪み補正関数 f_j により写像されたサンプル点列を（ X_m^j, Y_m^j ）（ $m = 0, 1, \dots, P-1$ ）とする。

$$^{\circ} \quad (X_m^j, Y_m^j) = f_j(X_m, Y_m), \quad m = 0, 1, \dots, P-1$$

【0124】

次に、写像されたサンプル点列（ X_m^j, Y_m^j ）（ $m = 0, 1, \dots, P-1$ ）を制御点とするq次のベジエ曲線 H' を算出する（S70）。次数qは、特徴点間のサンプル点列が、レンズ歪みがなければ、本来どのような線上に並んでいるかによって決められる。補正目標画像が長方形であり、特徴点が4隅の頂点である場合、特徴点間のサンプル点列は本来、長方形の辺上にある。この場合、次数 $q = 1$ と決める。ベジエ曲線の定義より、1次のベジエ曲線は、特徴点間を結ぶ直線となる。

【0125】

算出されたベジエ曲線と制御点間の誤差の和 D_j を次式により算出する（S72）。

$$D_j = \sum_{m=0}^{P-1} [(Y_m^j - (H'(X_m^j)))^2]$$

上式は、x方向にサンプリングされた場合に、ベジエ曲線による近似誤差を評価する式である。

【0126】

図23（a）～（c）は、ベジエ曲線による近似誤差の評価の様子を説明する図である。図23（a）は5個のサンプル点を示し、図23（b）は、図23（a）のサンプル点列をレンズ歪み補正関数 f_j により写像したものである。図23（c）は、 $q = 1$ のベジエ曲線、すなわち直線を写像後のサンプル点列に当てはめた様子を示し、各サンプル点列において誤差 $d_{j0} \sim d_{j4}$ が生じている。誤差の和 D_j は $D_j = d_{j0} + d_{j1} + d_{j2} + d_{j3} + d_{j4}$ により求められる。

【0127】

再び図22を参照する。変数 j を1だけインクリメントし (S74)、 j が N より小さいなら (S76のY)、ステップS68に戻り、次のレンズ歪み補正関数 f_j について誤差の和 D_j を算出する処理を行う。 j が N より小さくない場合 (S76のN)、誤差の和 D_j ($j=0, 1, \dots, N-1$) が最小となるラベル j に対応するレンズ歪み関数対 (f_j, f_{j-1}) を選択し (S78)、終了する。

【0128】

図24は、図22の特徴点間のサンプル点列の取得S64の詳細な手順を示すフローチャートである。ここでは、一例として補正対象画像すなわち原画像領域20の画像枠を検出して、サンプル点列を抽出する方法を説明する。

【0129】

まず、ステップS40において、エッジ判定に用いる閾値 T を設定する。ここでは、 $T = T_0 - \text{counter} \times 10$ により、閾値 T を設定する。 counter とは図13のフローチャートから分かるように補正回数のことであり、 T_0 とは初回補正時の閾値である。すなわち、補正回数が増えるごとに閾値 T を10ずつ下げて、図13のステップS14、ステップS15、およびステップS16の処理を行う。

【0130】

一例として、余白領域の端の画素Aの輝度値は200、原画像領域20の端にあり前記画素Aに隣接する画素Bの輝度値は90、 T_0 は115であるとする。前記画素Aと画素Bの輝度値の差が閾値 T よりも大きいときに、画素Aと画素Bの間にエッジがあると判定する場合、1回目の補正時 ($\text{counter}=0$) では、前記輝度値の差が110であるのに対し、閾値 T は115であるため、画素Aと画素Bの間にエッジがあるとは判定されない。しかし、2回目の補正時 ($\text{counter}=1$) では、閾値 T は105となるため、画素Aと画素Bの間にエッジがあると判定される。

【0131】

次にステップS42において、画像補正部34がエッジ検出処理を行う。隣接する画素の輝度の差分値と、ステップS40で設定した閾値 T とを比較し、差分値の方が大きければ該画素がエッジとみなす。図25(a)は、原画像領域20のエッジ検出処理の様子を説明する図である。撮影領域26の左上の頂点を原点にとり、横方向を x 軸、縦方向を y 軸とした座標系を用いる。斜線で示した原画像領域20の4頂点A~Dの座標は、それぞれ (X_0, Y_0) 、 (X_1, Y_1) 、 (X_2, Y_2) 、 (X_3, Y_3) である。 x 軸上の点E ($(X_0 + X_2) / 2, 0$) を走査開始点として y 軸方向に画素を走査し、 y 軸方向に並ぶ2画素の輝度値の差が閾値 T よりも大きい場合に、その2画素の境界地点をエッジとして判定する。以降、その地点を開始点として x 軸方向に左右に走査して、同様に y 軸方向に並ぶ2画素の輝度値の差が閾値 T よりも大きくなる場所を探索し、原画像領域20の横方向のエッジを検出する。

【0132】

縦方向のエッジも同様に検出する。 y 軸上の点F ($0, (Y_0 + Y_1) / 2$) を走査開始点として x 軸方向に画素を走査し、 x 軸方向に並ぶ2画素の輝度値の差が閾値 T よりも大きくなる場所を探索し、原画像領域20の縦方向のエッジを検出する。

【0133】

なお、ここでは y 軸方向または x 軸方向に並ぶ2画素の輝度値の差に基づき原画像領域20の縦方向または横方向のエッジを検出するものとしたが、これに代えて、エッジ検出テンプレートを利用してエッジを検出するものであってもよい。たとえばPrewittのエッジ検出器を用いたマッチングによる計算値と閾値 T との比較結果に基づき、エッジを検出するものであってもよい。

【0134】

なお、補正回数 counter の値が大きくなると、閾値 T が初期値 T_0 から小さくなっていくため、補正回数の増加とともにエッジ判定の条件が徐々に緩くなる。高い閾値 T を用いてエッジを抽出しようとする、撮影画像のノイズにより、正しくエッジを検出でき

ないことがあり、そのような場合は、閾値Tがより小さい値に設定されることにより、判定条件を緩めてエッジ検出がなされる。

【0135】

図24に戻り、画像補正部34は、原画像領域20の各辺を曲線近似するための標本点数Nを決定する(S44)。たとえば、 $N = 3 + \text{counter} \times N0$ と設定する。ここでN0は定数である。補正回数counterが増加すると、標本点数Nが増えるため、各辺の近似精度が高まる。画像補正部34は、検出されたエッジからN個の標本点を選択し、原画像領域20の各辺をスプライン近似する(S46)。サンプル点列は、こうして得られたスプライン曲線上の点をサンプルすることにより得られる。あるいは、スプライン曲線の制御点でもあるN個の標本点をそのままサンプル点列としてもよい。

【0136】

図25(b)は、原画像領域20の各辺のスプライン近似を説明する図である。原画像領域20の各辺71、72、73、74は、各辺上の3点と両端の2頂点を標本点とする3次スプライン曲線 $a_j x^3 + b_j x^2 + c_j x + d$ により近似される。補正回数が増えると、画像補正部34は、標本点数Nを増やすとともに、スプライン曲線の次数を大きくする。次数を増やすことにより、撮影された印刷画像Pにおける原画像領域20の各辺の形状をより正確に求めることができる。

【0137】

以上述べたように、本実施の形態の電子透かし抽出装置200では、あらかじめ、画角毎にレンズ歪み関数対をデータベースに用意しておき、撮影時の画角に応じたレンズ歪み関数対を利用してレンズ歪みを補正する。そのため、高い精度で画像に生じた歪みを補正することができ、電子透かしの検出頻度を高めることができる。

【0138】

また、算定される画角や、登録されているレンズ歪み補正関数には誤差が含まれるが、レンズ歪み補正関数を事前評価することで、より適切なレンズ歪み補正関数を選択することができる。また、電子透かしの埋め込みブロックのサイズの大小に応じて、レンズ歪み補正関数の事前評価をするかどうかを決めることができるため、画像歪みに対する電子透かしの耐性に見合った精度で画像歪みを補正することができ、無駄な歪み補正処理を避けて、透かしの検出精度を維持することができる。

【0139】

実施の形態2

実施の形態1では、補正対象画像に透視歪みがないか、もしくは透視歪みによる影響が無視できるほど小さいものとして、レンズ歪み補正だけを行ったが、実施の形態2では、補正対象画像の透視歪みの補正も行う。その他の構成と動作は実施の形態1と同じであるから、実施の形態1と異なる点だけを説明する。

【0140】

図26は、実施の形態2に係る電子透かし抽出装置200の構成図である。図4に示した実施の形態1に係る電子透かし抽出装置200では、画像補正部34が撮影画像のレンズ歪みを補正をした後に、画像領域判定部32がレンズ歪み補正画像から原画像領域20を切り出す処理を行ったが、本実施の形態では、画像領域判定部32の構成は含まれない。これは画像補正部34における透視歪みの補正処理において、原画像領域20を切り出す処理が合わせて行われるからである。したがって、本実施の形態では、画像補正部34がレンズ歪みと透視歪みが補正された後の原画像領域20を透かし抽出部36に直接与え、透かし抽出部36が歪み補正された原画像領域20に埋め込まれた透かし情報Xを抽出する。

【0141】

図27は、実施の形態2のプロファイル生成部38および画像補正部34の詳細な構成を説明する図である。プロファイル生成部38の構成は、図7に示した実施の形態1のプロファイル生成部38と同じである。

【0142】

本実施の形態の画像補正部 34 は、レンズ歪み関数対選択部 86、レンズ歪み補正処理部 88、透視歪み関数算出部 87、および透視歪み補正処理部 89 を含む。

【0143】

撮影部 30 は撮影した印刷画像 P を画像補正部 34 に与える。画像補正部 34 のレンズ歪み関数対選択部 86 は、印刷画像 P の撮影画像の入力を受け、画像情報から撮影時の画角 θ を判定し、プロファイルデータベース 40 から画角 θ に対応するレンズ歪み関数対 (F, F^{-1}) を選択し、レンズ歪み補正処理部 88 にレンズ歪み補正関数 F を与える。

【0144】

レンズ歪み補正処理部 88 は、レンズ歪み補正関数 F を利用して、撮影画像に生じたレンズ歪みを補正し、レンズ歪みが補正された画像を透視歪み関数算出部 87 に与える。透視歪み関数算出部 87 は、レンズ歪み補正画像を利用して、撮影画像内の原画像領域 20 の透視歪みを表現する透視歪み関数 G を算出し、算出された透視歪み関数 G を透視歪み補正処理部 89 に与える。

【0145】

透視歪み補正処理部 89 は、透視歪み関数 G を用いて、原画像領域 20 の透視歪みを補正し、補正後の原画像領域 20 を透かし抽出部 36 に与える。

【0146】

図 28 は、電子透かし抽出手順の全体的な流れを示すフローチャートである。図 13 に示した実施の形態 1 に係る電子透かし抽出手順と異なるのは、原画像領域 20 を抽出するための画像領域判定処理 S15 がない点であり、それ以外は実施の形態 1 と同じである。本実施の形態では、原画像領域 20 の抽出は、画像補正処理 S14 において透視歪みの補正の際に行われることになる。

【0147】

図 29 は、本実施の形態の画像補正部 34 による画像補正処理 S14 の大まかな流れを示すフローチャートである。図 14 に示した実施の形態 1 における画像補正処理 S14 と異なるのは、レンズ歪み関数対の選択 S34 の後、レンズ歪みが補正され (S35)、さらにレンズ歪み補正後に透視歪み関数が算出され (S36)、画像補正メイン処理 S38 において、透視歪み関数を使って画像補正がなされる点である。

【0148】

レンズ歪みの補正 S35 の手順を説明する。レンズ歪み補正処理部 88 は、補正対象画像の点 (i, j) を次式のようにレンズ歪み補正関数 F により写像することにより、補正対象画像全体に生じたレンズ歪みを補正する。

$$(x_{ij}, y_{ij}) = F(i, j)$$

【0149】

図 30 は、図 29 の透視歪み関数の算出 S36 の詳細な手順を示すフローチャートである。画像補正部 34 は、印刷画像 P の撮影画像全体を補正対象画像とし、補正目標画像における特徴点の個数 M とそのパターン位置 (c_{mk}, c_{nk}) ($k=0, 1, \dots, M-1$) を設定する (S100)。特徴点の位置は補正目標画像において既知であるとする。一例として、長方形の補正目標画像における 4 隅の頂点を特徴点として設定するなら、 $M=4$ で、特徴点は $(0, 0)$, $(W-1, 0)$, $(0, H-1)$, $(W-1, H-1)$ となる。別の例として、長方形の補正目標画像の各辺上に等間隔で目印をつけ特徴点としてもよい。また、補正目標画像内の人物などのオブジェクトのエッジ上の点を特徴点としてもよい。

【0150】

透視歪み関数算出部 87 は、ステップ S100 で設定した特徴点情報に基づき、レンズ歪み補正後の補正対象画像において、対応する特徴点を検出する処理を行い、補正対象画像内の特徴点の撮像位置 (CX_k, CY_k) ($k=0, 1, \dots, M-1$) を求める (S104)。たとえば、補正対象画像である原画像領域 20 から 4 隅の頂点を特徴点として検出する場合、一例として、原画像領域 20 のエッジをエッジフィルタなどの手法で追跡して、原画像領域 20 の頂点を見つけ、さらに、頂点近傍の画素をフーリエ変換して、位相

角を検出することにより頂点の正確な位置を特定する。また、補正対象画像の各辺上の点を特徴点とする場合は、原画像領域 2 0 の画像枠上に存在する目印の検出処理を行う。

【0151】

透視歪み関数算出部 8 7 は、ステップ S 1 0 4 で検出された特徴点 (CX_k , CY_k) とそれに対応する補正目標画像上のパターン位置 (cm_k , cn_k) の関係から最小二乗法により透視歪み関数 G を算出する (S 1 0 6)。この透視歪み関数 G の算出には、図 1 0 の透視歪み関数 g の算出 S 2 0 8 と同じ手順が用いられる。すなわち、レンズ歪み補正後の補正対象から検出された特徴点 (CX_k , CY_k) にはレンズ歪みの影響がないため、検出された特徴点 (CX_k , CY_k) とそれに対応する補正目標画像上のパターン位置 (cm_k , cn_k) のずれは、透視歪みによるものであり、両者の間には、図 1 0 の透視歪み関数 g の算出 S 2 0 8 で述べた透視歪みの関係式が成り立つ。透視歪み関数算出部 8 7 は、この透視歪みの関係式の係数を求めることで、透視歪み関数 G を算出することができる。

【0152】

図 3 1 は、本実施の形態の画像補正メイン処理 S 3 8 の詳細な手順を示すフローチャートである。透視歪み補正処理部 8 9 は、補正目標画像の y 座標値 j を 0 に初期化する (S 8 0)。次に、補正目標画像の x 座標値 i を 0 に初期化する (S 8 2)。

【0153】

透視歪み補正処理部 8 9 は、補正目標画像における点 $P(i, j)$ を透視歪み関数 G により写像する (S 8 4)。透視歪み関数 G により写像された点の座標を点 $Q(x_{ij}, y_{ij})$ とする。

$$(x_{ij}, y_{ij}) = G(i, j)$$

【0154】

図 3 2 は、補正目標画像内の点が補正対象画像内の点に写像される様子を説明する図である。図 3 2 (a) の補正目標画像 3 2 2 は撮影画像内の原画像領域 2 0 に対応する画像であり、幅 W 、高さ H の大きさである。図 3 2 (c) の補正対象画像 3 4 2 は、レンズ歪みと透視歪みのある撮影画像であり、原画像領域 2 0 を含め、撮影領域 2 6 全体にレンズ歪みと透視歪みが生じている。図 2 9 のステップ S 3 5 において、レンズ歪み補正処理部 8 8 がレンズ歪み補正関数 F により撮影画像全体を写像することにより、図 3 2 (c) の補正対象画像 3 4 2 は、いったん、図 3 2 (b) のレンズ歪み補正画像 3 3 0 に変換される。レンズ歪み補正画像 3 3 0 においては、原画像領域 2 0 を含め、撮影領域 2 6 全体のレンズ歪みが除去されているが、透視歪みは残っている。

【0155】

図 3 1 のステップ S 8 4 において、補正目標画像 3 2 2 における点 $P(i, j)$ は、図 3 2 に示すように、透視歪み関数 G により、透視歪みの生じているレンズ歪み補正画像 3 3 0 内の点 $Q(x_{ij}, y_{ij})$ に写像される。

【0156】

透視歪み補正処理部 8 9 は、点 $Q(x_{ij}, y_{ij})$ における輝度値 $L(x_{ij}, y_{ij})$ を周辺の画素の輝度値によりバイリニア補間法などによって補間して算出し、算出された輝度値 $L(x_{ij}, y_{ij})$ を補正目標画像の点 $P(i, j)$ における輝度値として設定する (S 8 8)。

【0157】

x 座標値 i を 1 だけインクリメントする (S 9 0)。 x 座標値 i が補正目標画像の幅 W よりも小さいなら (S 9 2 の N)、ステップ S 8 4 に戻り、 x 軸方向に座標値を進めながら、画素の輝度値を求める処理を繰り返す。

【0158】

x 座標値 i が補正目標画像の幅 W 以上なら (S 9 2 の Y)、現在の y 座標値 j のもとの x 軸方向の画素の輝度値が得られたので、次に、 y 座標値 j を 1 だけインクリメントする (S 9 4)。 y 座標値 j が補正目標画像の高さ H 以上なら (S 9 6 の Y)、補正目標画像のすべての画素について補間により輝度値が得られたので、終了する。 y 座標値 j が補

正目標画像の高さHよりも小さいなら(S96のN)、ステップS82に戻り、x座標値を再び0に初期化し、新しいy座標値jのもとでx軸方向に座標値を進めながら、画素の輝度値を求める処理を繰り返す。

【0159】

以上述べたように、本実施の形態の電子透かし抽出装置200では、レンズ歪み補正関数を利用して、特徴点の透視歪みによる位置ずれを検出し、撮影時の透視歪み関数をその都度正確に求めることができる。これにより、レンズ歪みの他に透視歪みが生じた画像であっても、レンズ歪みと透視歪みを切り分けて処理することにより、正確に歪みを補正することができる。

【0160】

以上、本発明を実施の形態をもとに説明した。実施の形態は例示であり、それらの各構成要素や各処理プロセスの組み合わせにいろいろな変形例が可能なこと、またそうした変形例も本発明の範囲にあることは当業者に理解されるところである。

【0161】

そのような変形例として、上記の説明では、透視歪みを補正するために、透視歪み関数を算出したが、その代わりに、透視歪みのいくつかのパターンを示す格子形状のプロファイルデータをプロファイルデータベース40に格納しておいてもよい。たとえば、格子模様画像Rを撮影するときの光軸をいろいろな方向と角度で傾けて、透視歪みが生じた複数の格子パターンを撮影し、プロファイルデータベース40に登録しておき、画像補正時に最も合う格子パターンを利用して透視歪みを補正する。

【0162】

また、上記の説明では、レンズ歪み関数対をプロファイルデータベース40に登録したが、関数の形ではなく、補正目標画像内の点と補正対象画像内の点の対応関係を示すテーブルの形でプロファイルデータベース40に格納してもよい。この場合、補正目標画像を透かしの埋め込みブロックのサイズに合わせて、格子状に区切り、格子点の対応関係だけをレンズ歪みのプロファイルデータとしてプロファイルデータベース40に登録すればよい。

【0163】

上記の透かし検出手順では、透かし検出に失敗した場合、閾値などのパラメータを調整して画像補正処理をやり直し、透かし検出を再度試みるが、透かし検出に失敗した場合、あるいは補正回数が所定回数を超えた場合に、画像補正部34は、撮影部30に印刷画像Pの再撮影を要求してもよい。

【0164】

レンズ歪み関数対のデータは、デジタルカメラやスキャナなどの撮影機器の機種別にプロファイルデータベース40に格納されてもよい。電子透かし抽出装置200は、撮影機器の機種情報を取得して、印刷画像Pの撮影に使用された機種に合ったレンズ歪み関数対のデータを選択して使用することができる。

【0165】

上記の実施例は、電子透かしが「ブロック埋め込み方式」で埋め込まれた画像の原画像領域20の画像補正を例に説明したものであったが、これは本発明の画像補正技術の一実施例に過ぎない。上記実施例で説明した構成や処理手順によれば、電子透かしが他の方式で埋め込まれた画像の補正をすることもできる。また、上記実施例で説明した画像補正に係る構成と処理手順によれば、電子透かしが埋め込まれていない一般的な画像を補正することも可能である。たとえば、印刷画像の撮影画像に限らず、カメラで人物や風景などの被写体を実写した画像の補正にも本発明の画像補正技術を適用することができる。

【図面の簡単な説明】

【0166】

【図1】 実施の形態1に係る電子透かし埋め込み装置の構成図である。

【図2】 図1のブロック埋め込み部によるブロック埋め込み方式を説明する図である。

。

【図 3】図 1 の電子透かし埋め込み装置から出力される印刷画像を説明する図である。

【図 4】実施の形態 1 に係る電子透かし抽出装置の構成図である。

【図 5】図 4 の電子透かし抽出装置により撮影された印刷画像を説明する図である。

【図 6】撮影による画素のずれを説明する図である。

【図 7】図 4 のプロファイル生成部および画像補正部の詳細な構成を説明する図である。

【図 8】画角とズームレンズの焦点距離との関係を説明する図である。

【図 9】図 7 のプロファイルデータベースに格納されるレンズ歪み関数対を説明する図である。

【図 10】電子透かし抽出装置によるプロファイルデータベースの生成手順を説明する図である。

【図 11】較正パターンとして用いられる格子模様画像を説明する図である。

【図 12】レンズ歪み関数対を説明する図である。

【図 13】実施の形態 1 に係る電子透かし抽出手順の全体的な流れを示すフローチャートである。

【図 14】図 13 の画像補正処理の大まかな流れを示すフローチャートである。

【図 15】図 14 のレンズ歪み関数対の選択の詳細な手順を示すフローチャートである。

【図 16】図 14 の画像補正メイン処理の詳細な手順を示すフローチャートである。

【図 17】補正目標画像内の点が補正対象画像内の点に写像される様子を説明する図である。

【図 18】レンズ歪み関数による写像先の点における輝度値の算出方法を説明する図である。

【図 19】図 13 の画像領域判定処理の詳細な手順を示すフローチャートである。

【図 20】レンズ歪み補正画像から特徴点が抽出される様子を説明する図である。

【図 21】速度優先システム向け選択方法と精度優先システム向け選択方法を切り替え可能なレンズ歪み関数対の選択の詳細な手順を示すフローチャートである。

【図 22】図 21 の補正関数の事前評価の詳細な手順を示すフローチャートである。

【図 23】ベジェ曲線による近似誤差の評価の様子を説明する図である。

【図 24】図 22 の特徴点間のサンプル点列の取得の詳細な手順を示すフローチャートである。

【図 25】図 25 (a) は、原画像領域のエッジ検出処理の様子を説明する図であり、図 25 (b) は、原画像領域の各辺のスプライン近似を説明する図である。

【図 26】実施の形態 2 に係る電子透かし抽出装置の構成図である。

【図 27】図 26 のプロファイル生成部および画像補正部の詳細な構成を説明する図である。

【図 28】実施の形態 2 に係る電子透かし抽出手順の全体的な流れを示すフローチャートである。

【図 29】図 28 の画像補正処理の大まかな流れを示すフローチャートである。

【図 30】図 29 の透視歪み関数の算出の詳細な手順を示すフローチャートである。

【図 31】図 29 の画像補正メイン処理の詳細な手順を示すフローチャートである。

【図 32】補正目標画像内の点が補正対象画像内の点に写像される様子を説明する図である。

【符号の説明】

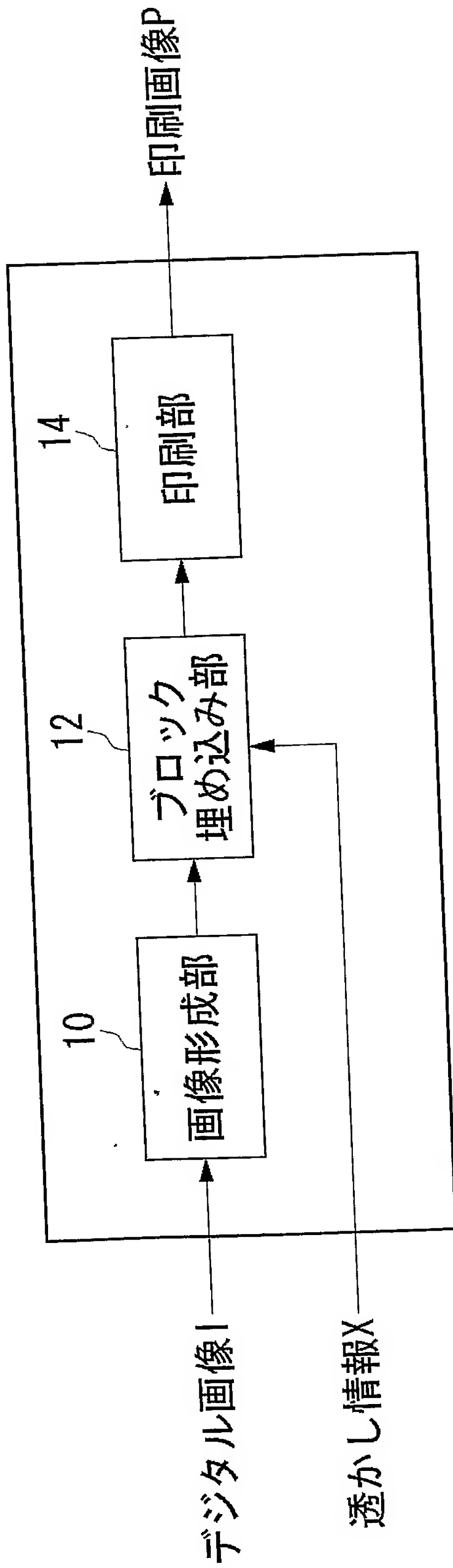
【0167】

10 画像形成部、 12 ブロック埋め込み部、 14 印刷部、 20 原画像領域、 22 埋め込みブロック、 24 印刷媒体、 26 撮影領域、 30 撮影部、 32 画像領域判定部、 34 画像補正部、 36 透かし抽出部、 38 プロファイル生成部、 40 プロファイルデータベース、 80 透視歪み関数算出部、

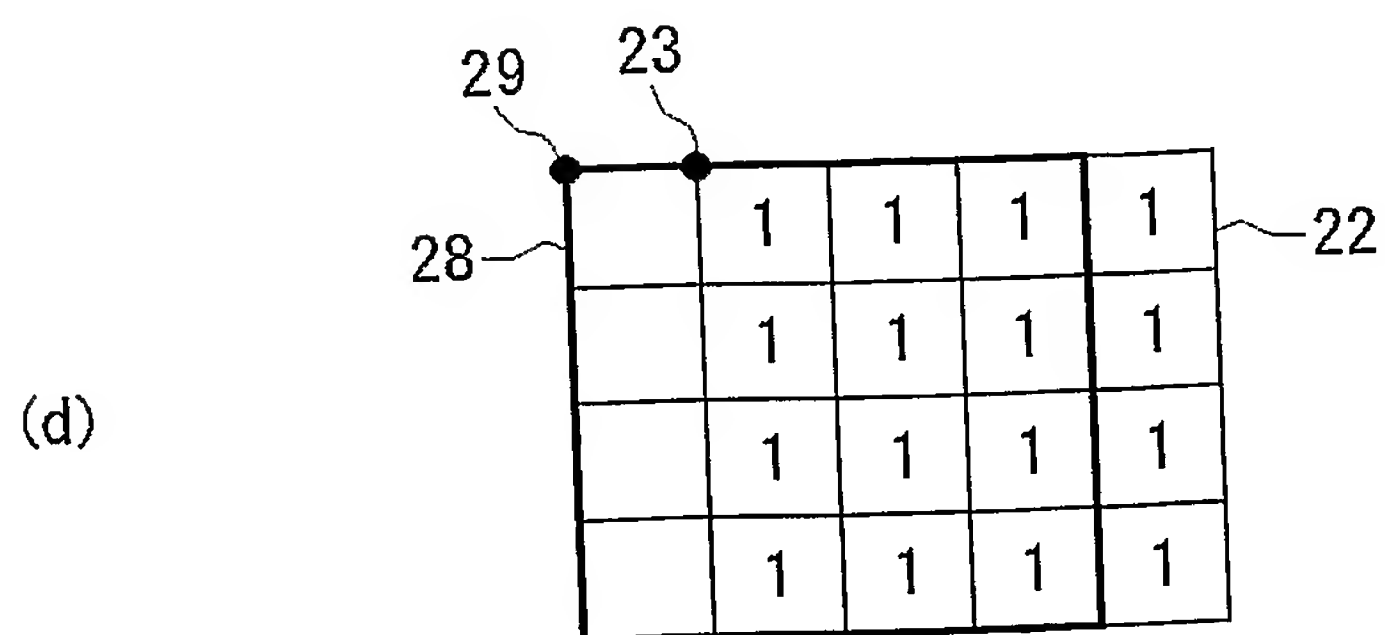
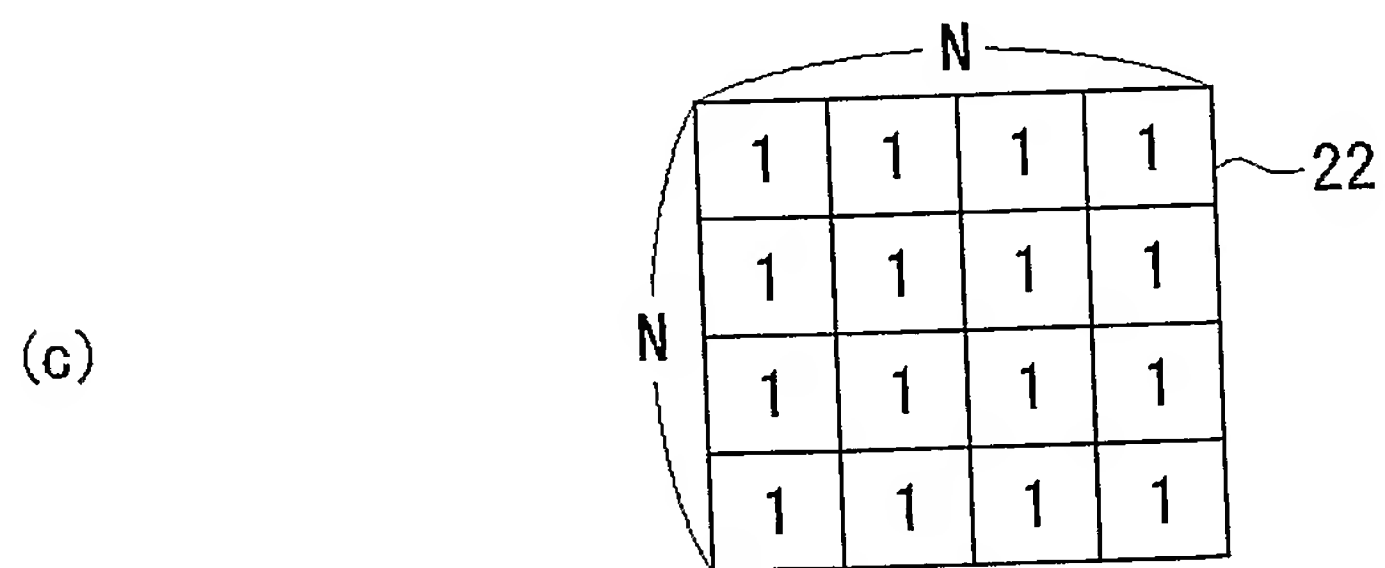
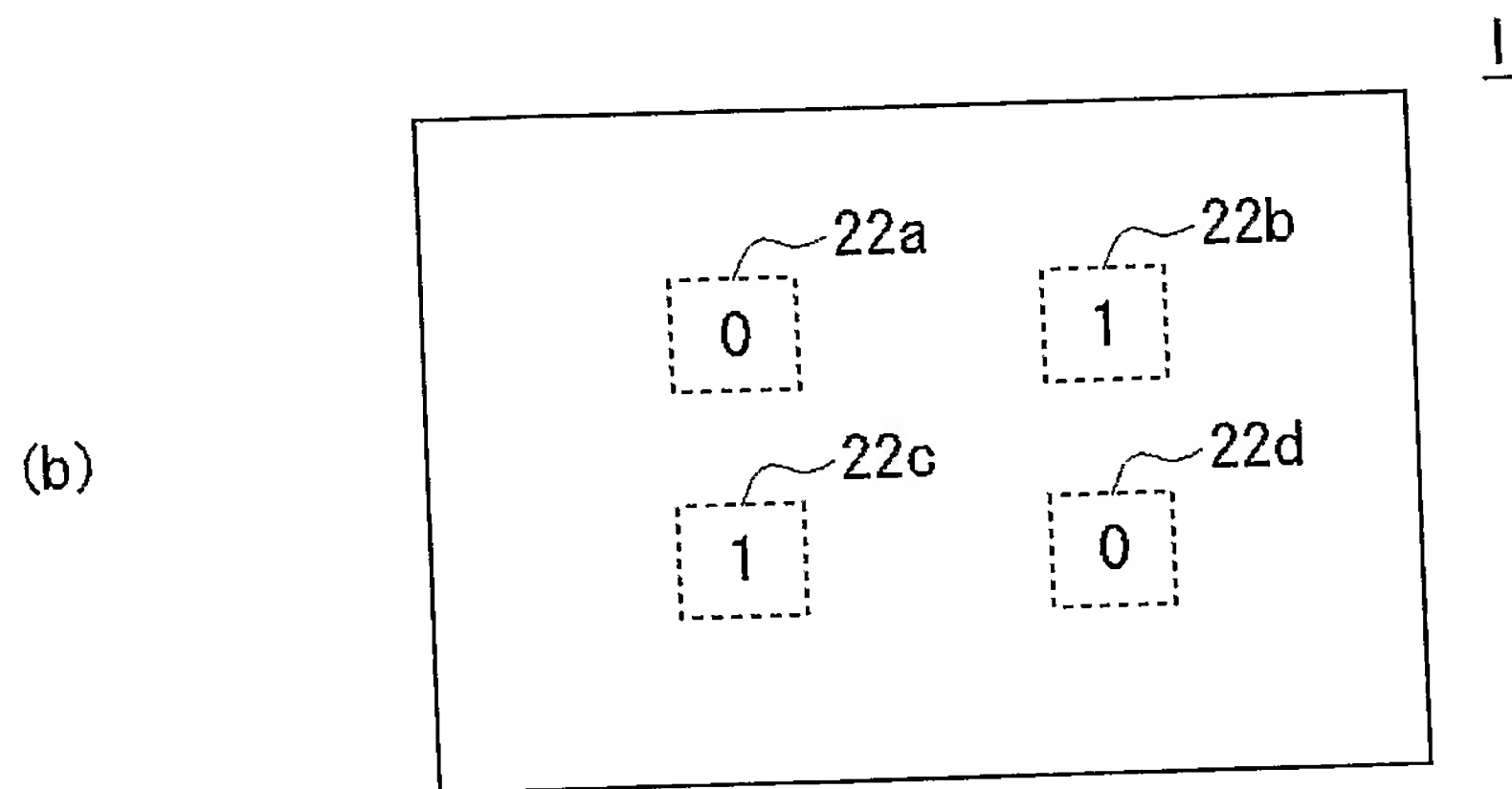
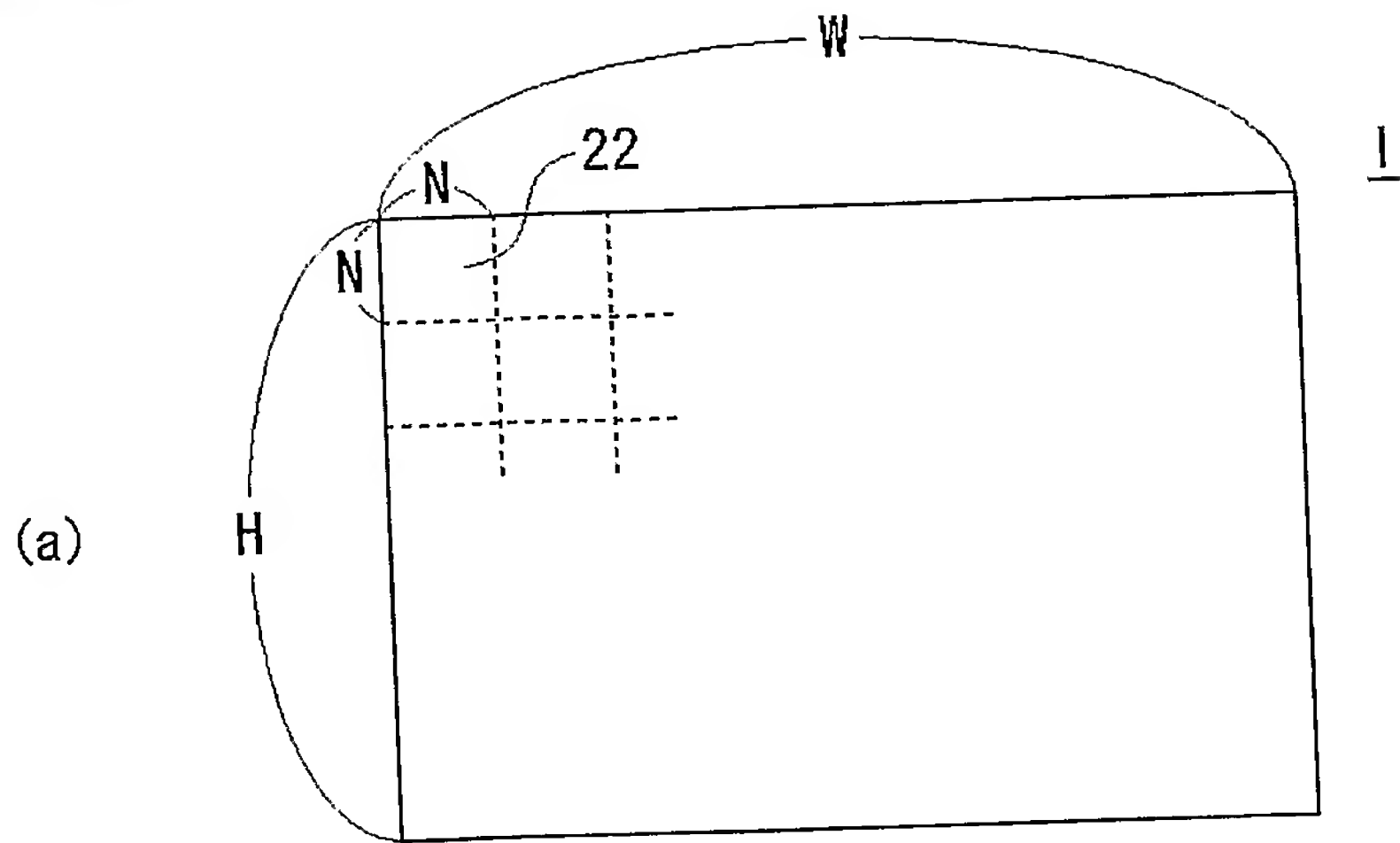
8 2 レンズ歪み関数対算出部、 8 4 レンズ歪み関数対登録部、 8 6 レンズ歪み関数対選択部、 8 7 透視歪み関数算出部、 8 8 レンズ歪み補正処理部、 8 9 透視歪み補正処理部、 1 0 0 電子透かし埋め込み装置、 2 0 0 電子透かし抽出装置。

【書類名】 図面
【図 1】

100

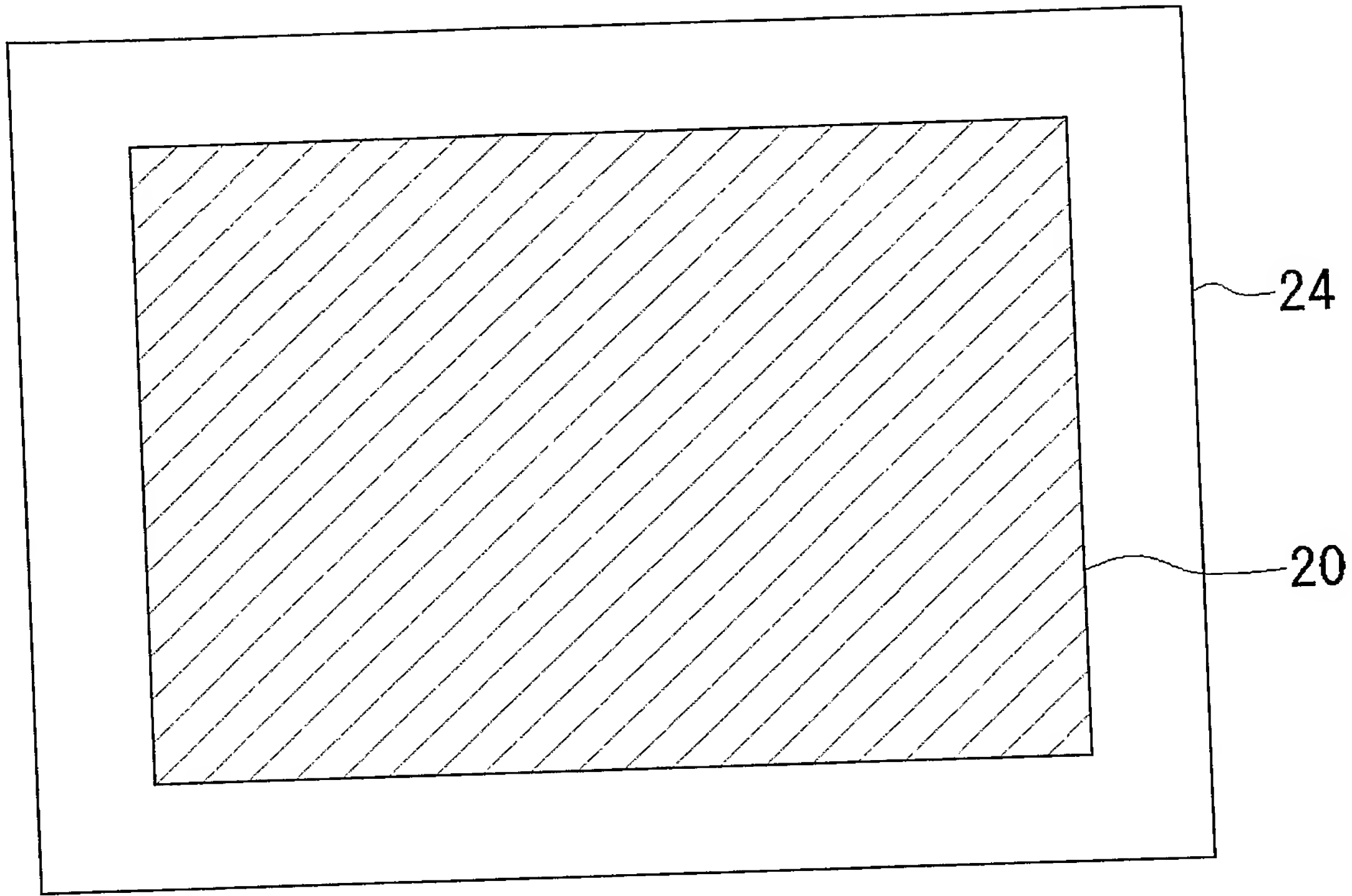


【図 2】



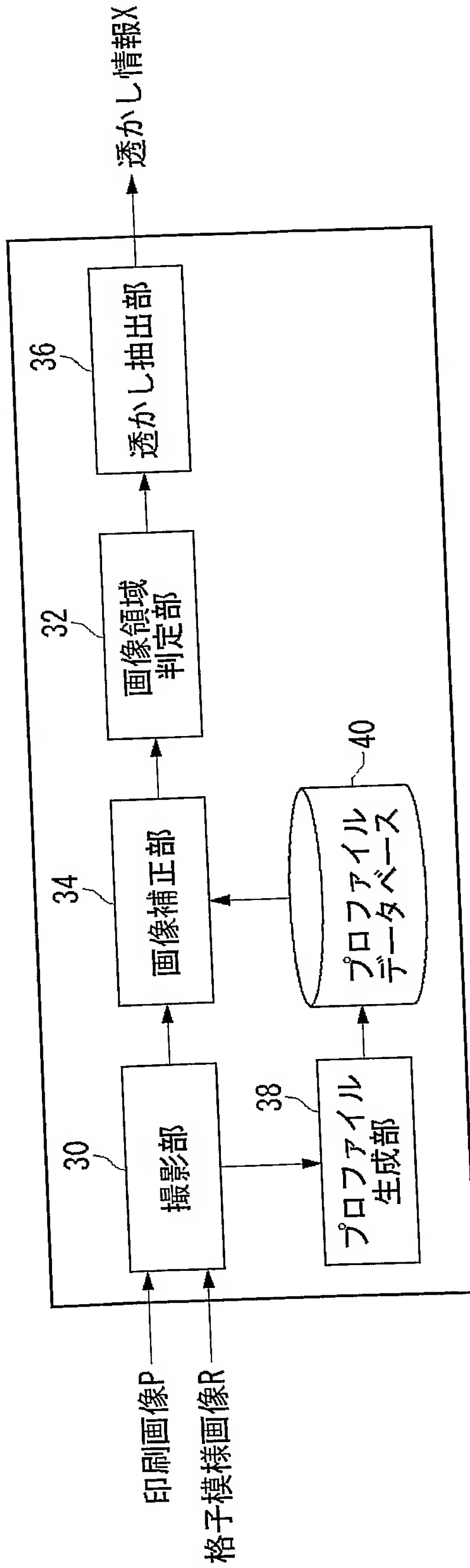
【図 3】

P

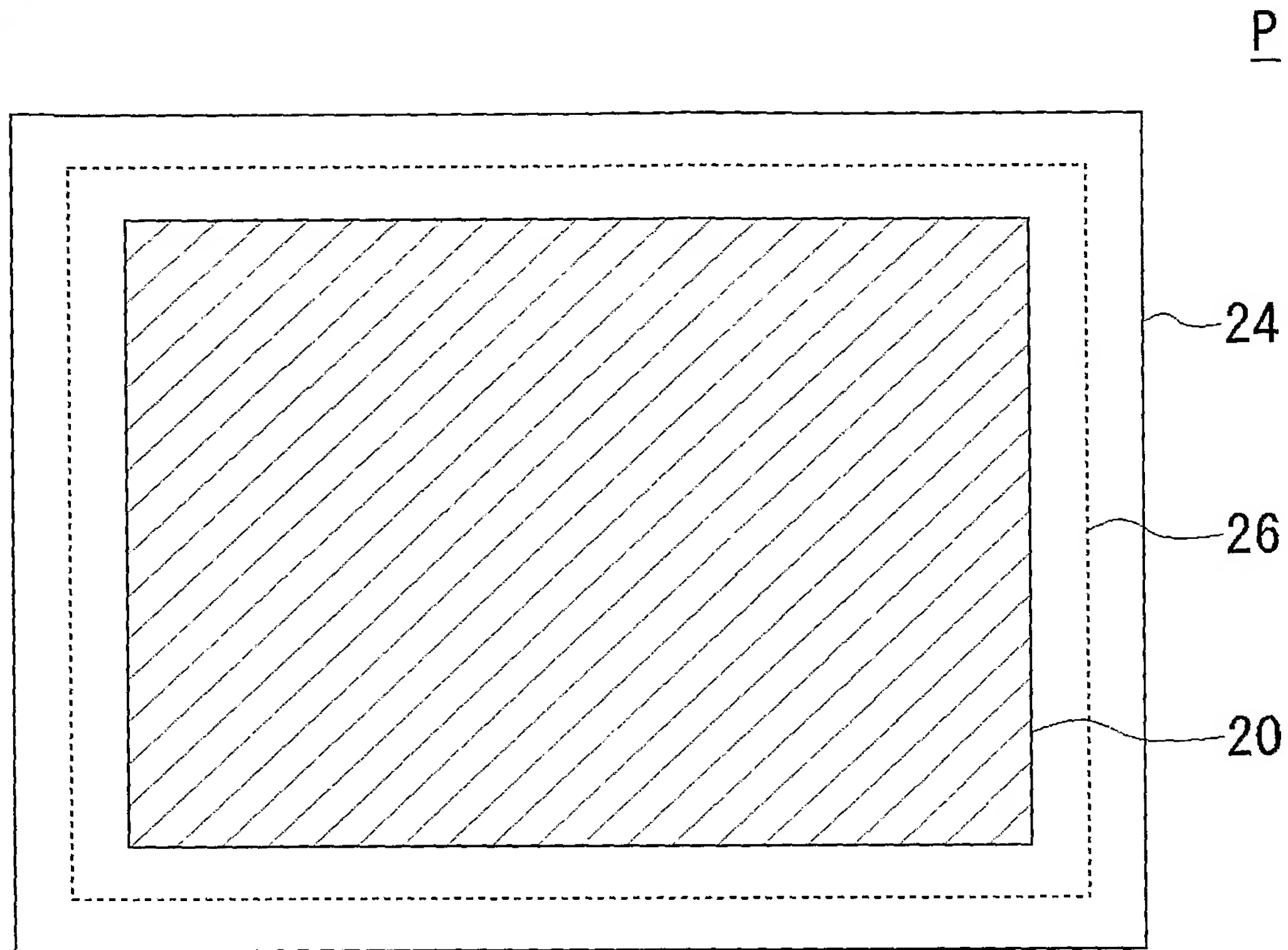


【図 4】

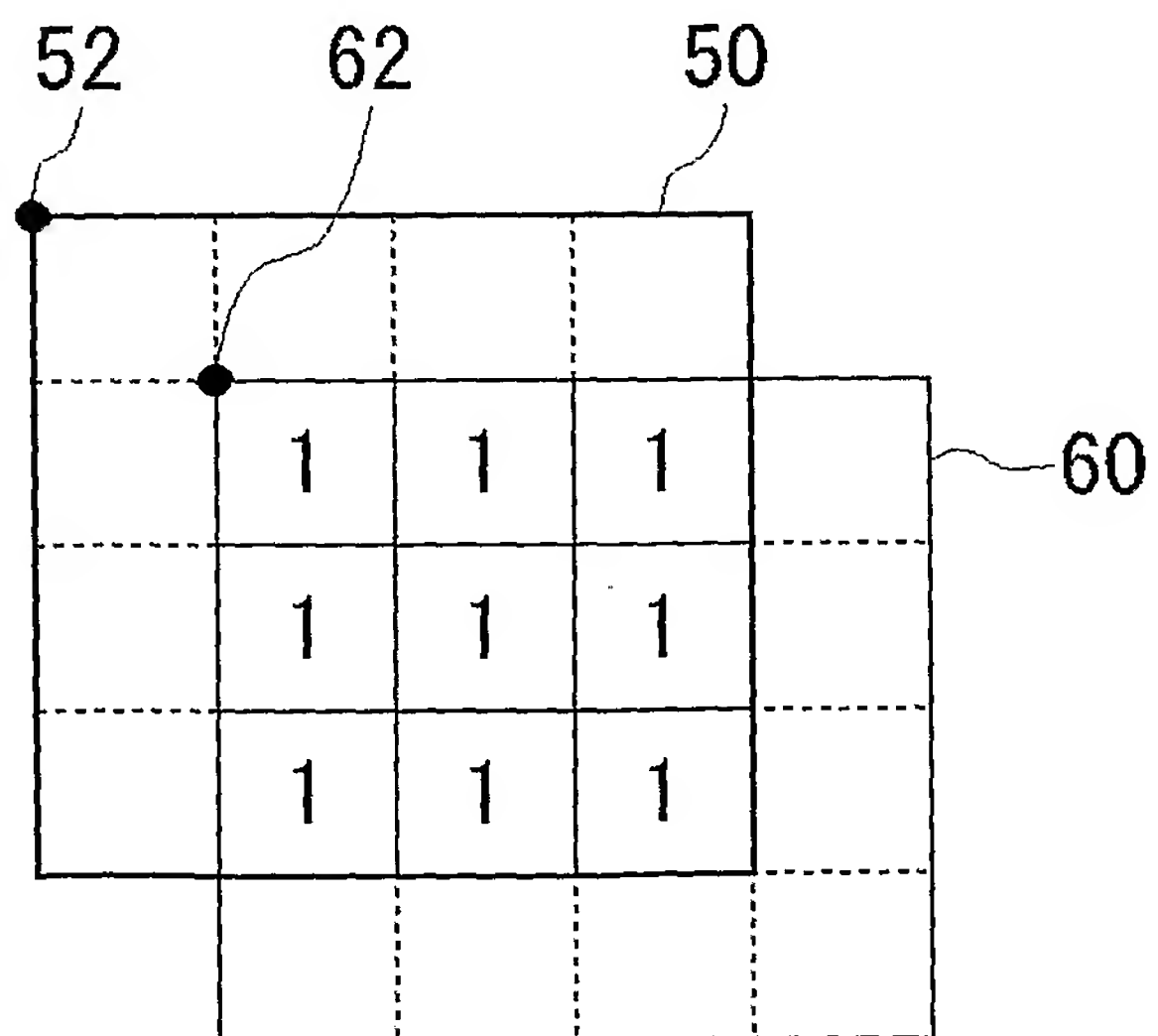
200



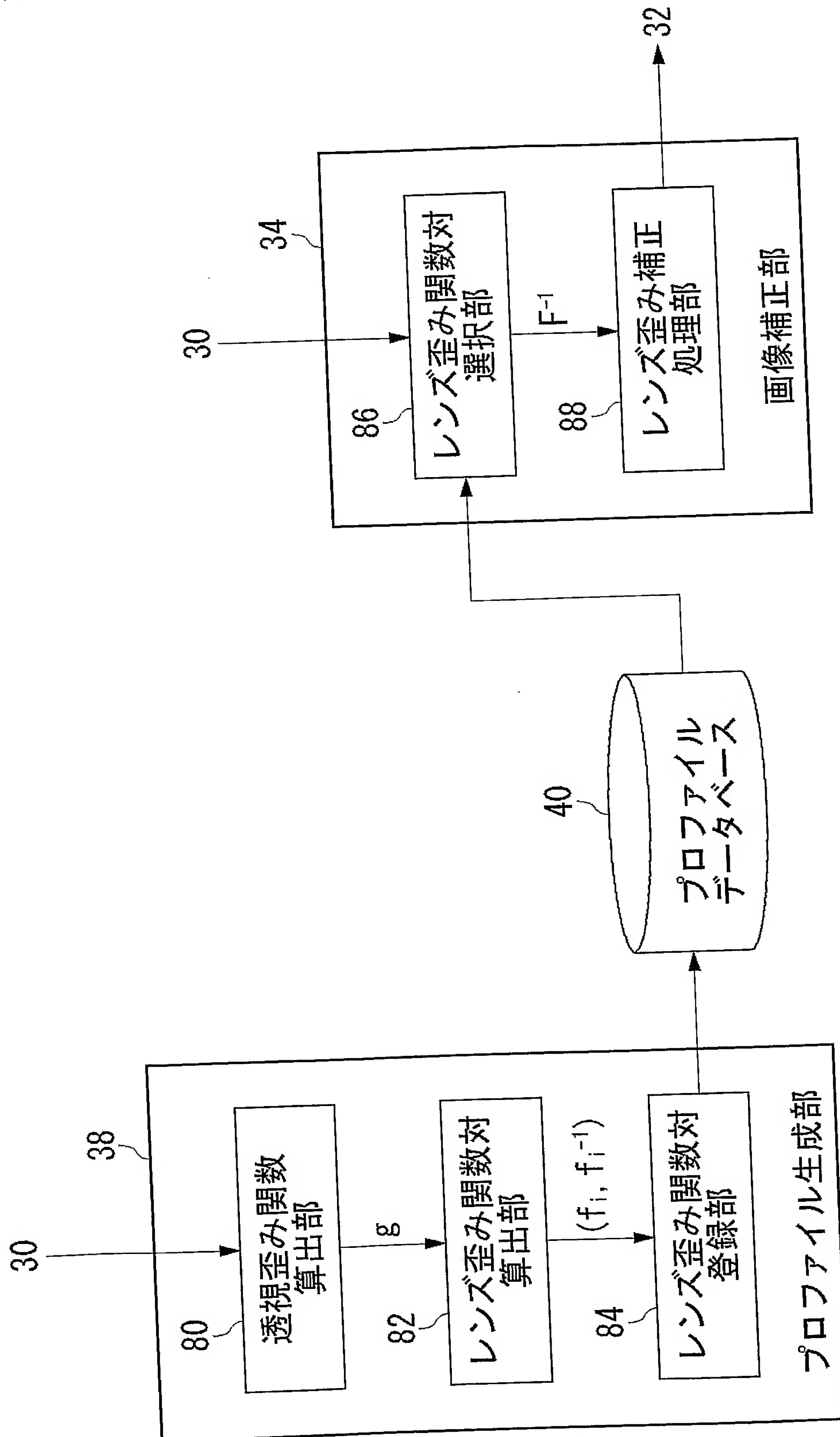
【図 5】



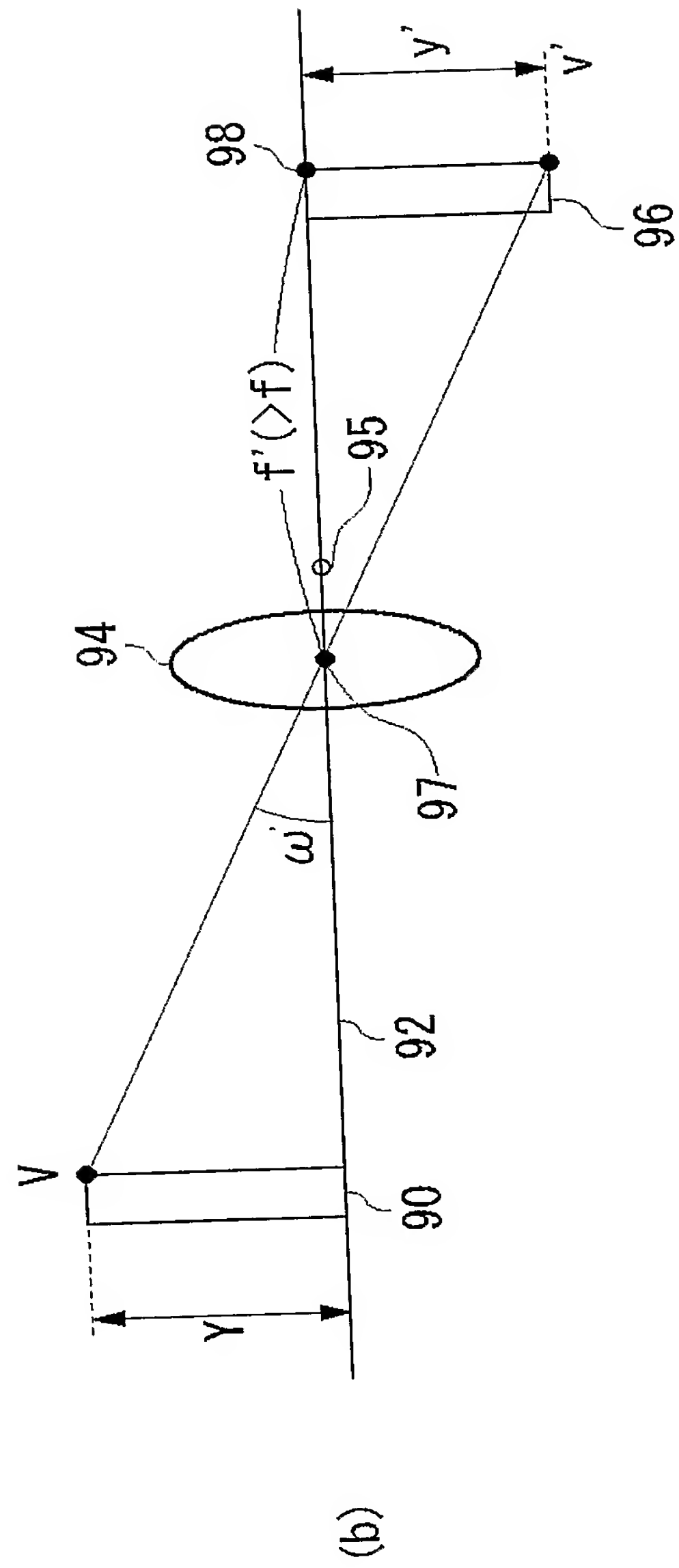
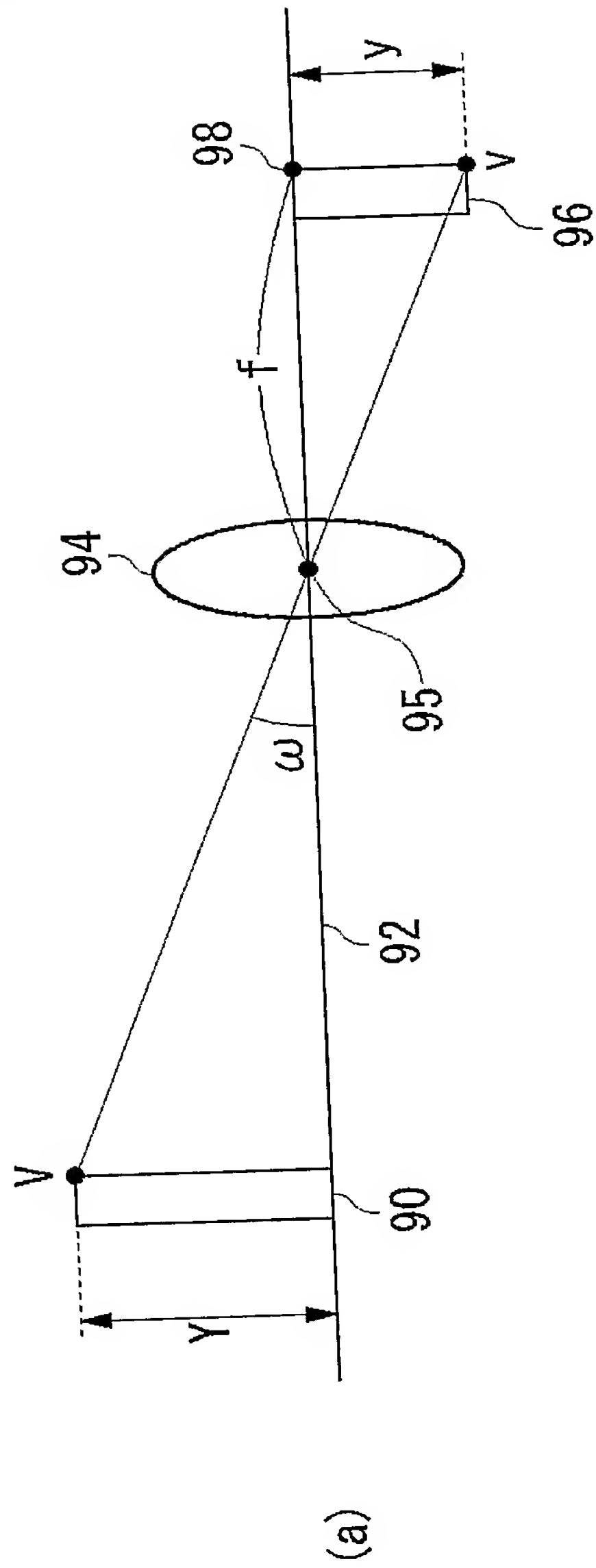
【図 6】



【図 7】



【図 8】



【図 9】

42

機種名	レンズ歪み関数対
A	(f_A, f_A^{-1})
B	(f_B, f_B^{-1})
\vdots	\vdots

(a)

44

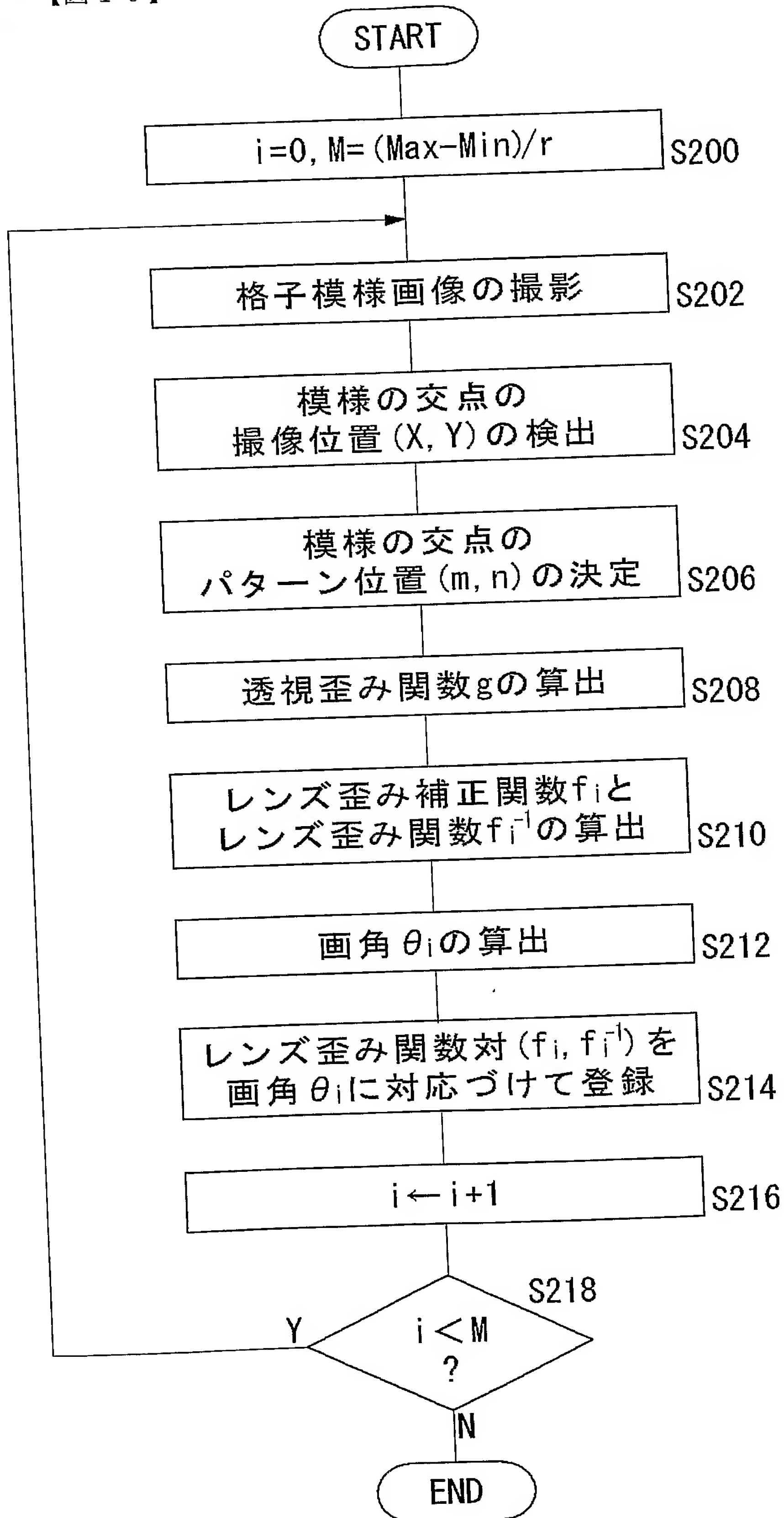
機種名	CCDの 対角長	ポインタ
A	d_A	●
B	d_B	
\vdots	\vdots	\vdots

(b)

46

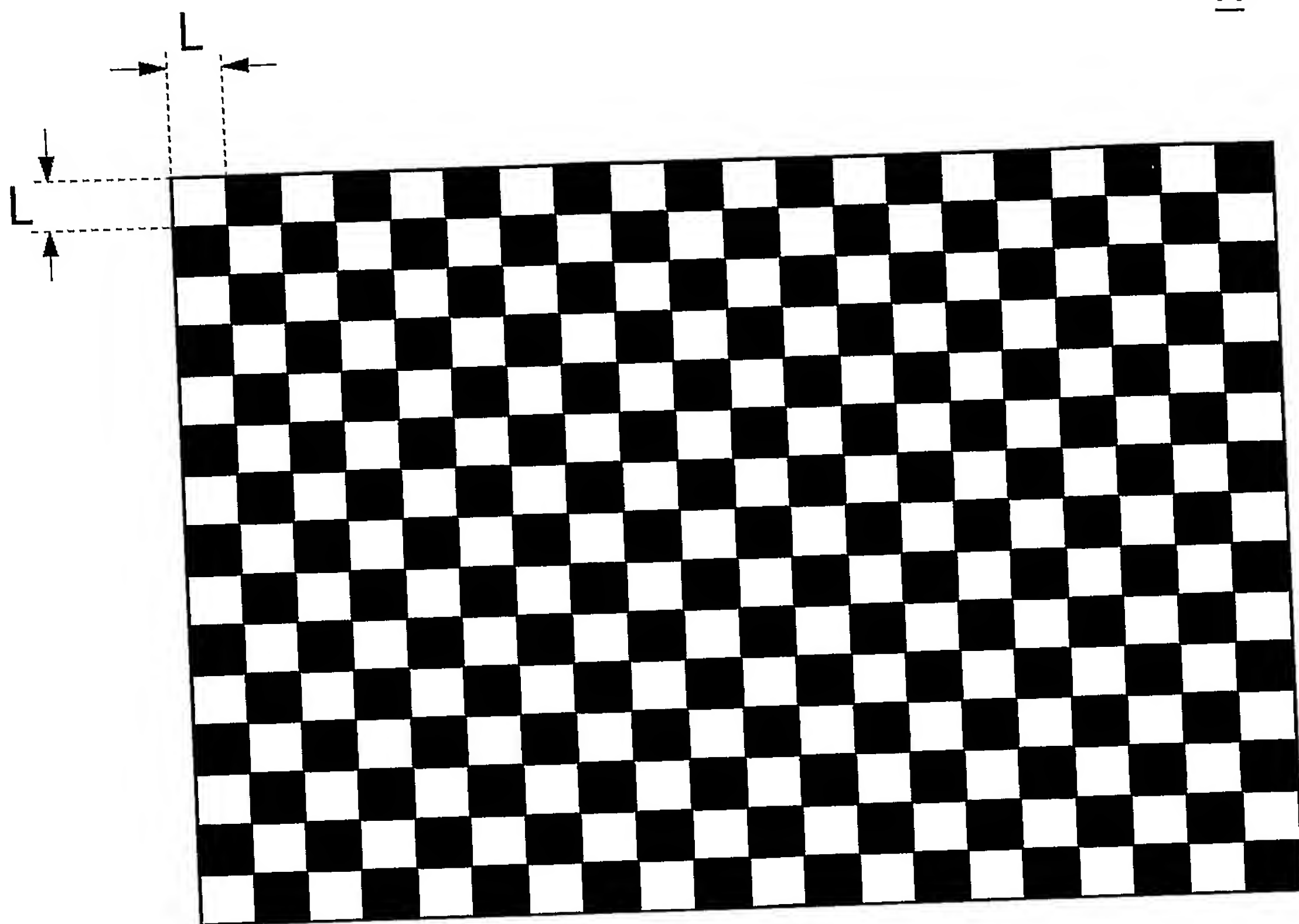
ラベル	画角	レンズ歪み関数対
\vdots	\vdots	\vdots
i	θ_i	(f_i, f_i^{-1})
i+1	θ_{i+1}	(f_{i+1}, f_{i+1}^{-1})
i+2	θ_{i+2}	(f_{i+2}, f_{i+2}^{-1})
\vdots	\vdots	\vdots

【図 10】



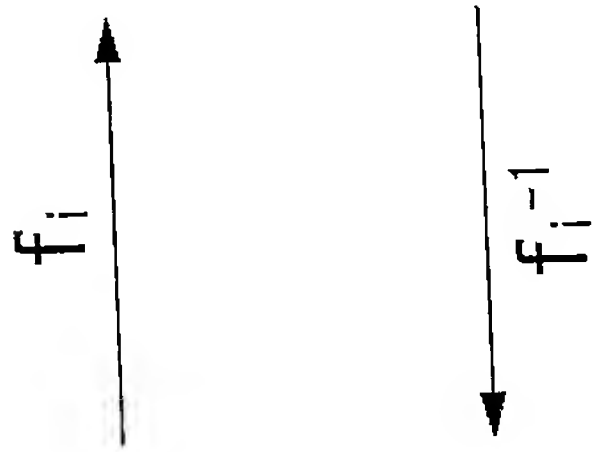
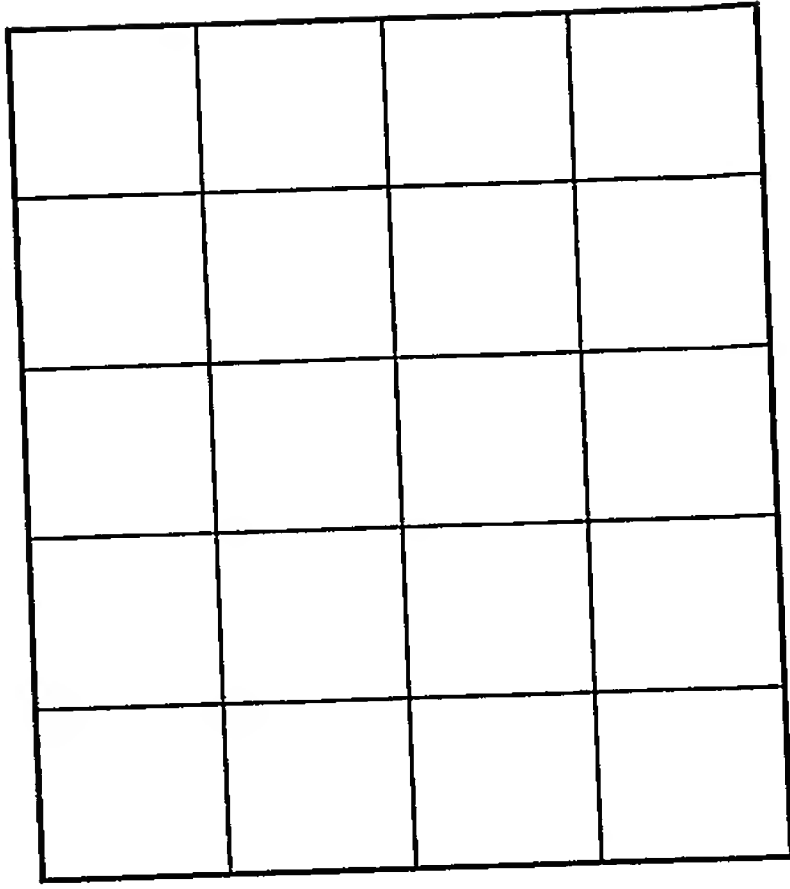
【図 1 1】

R

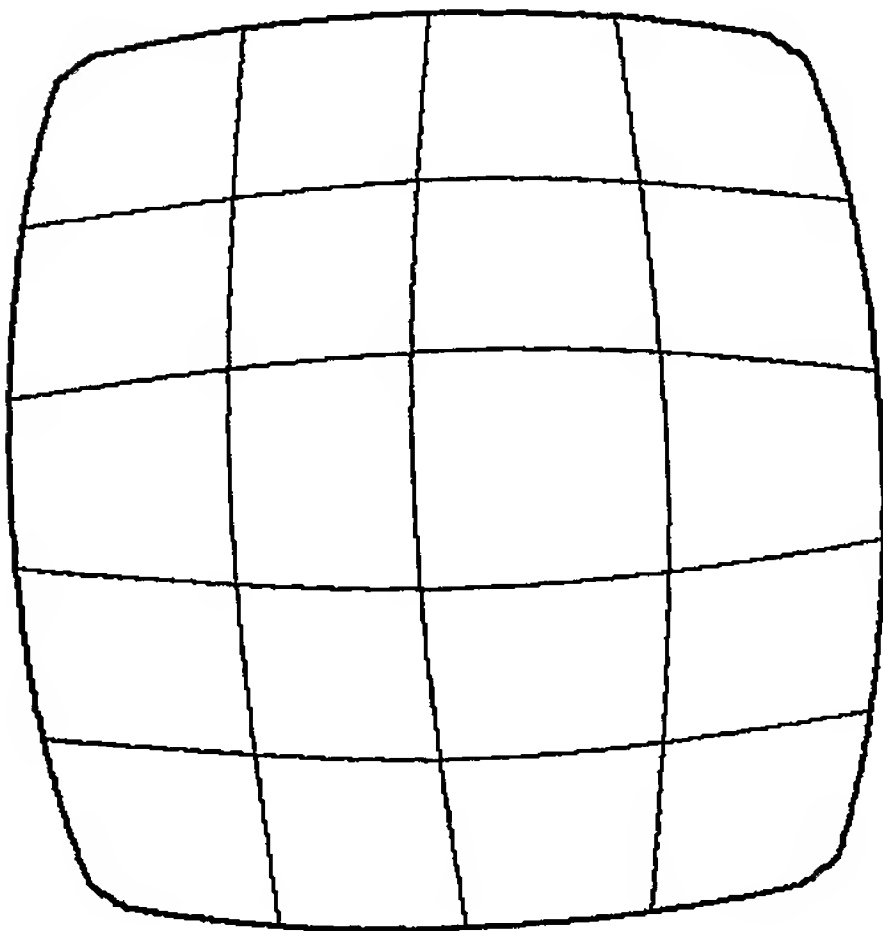


【図 1 2】

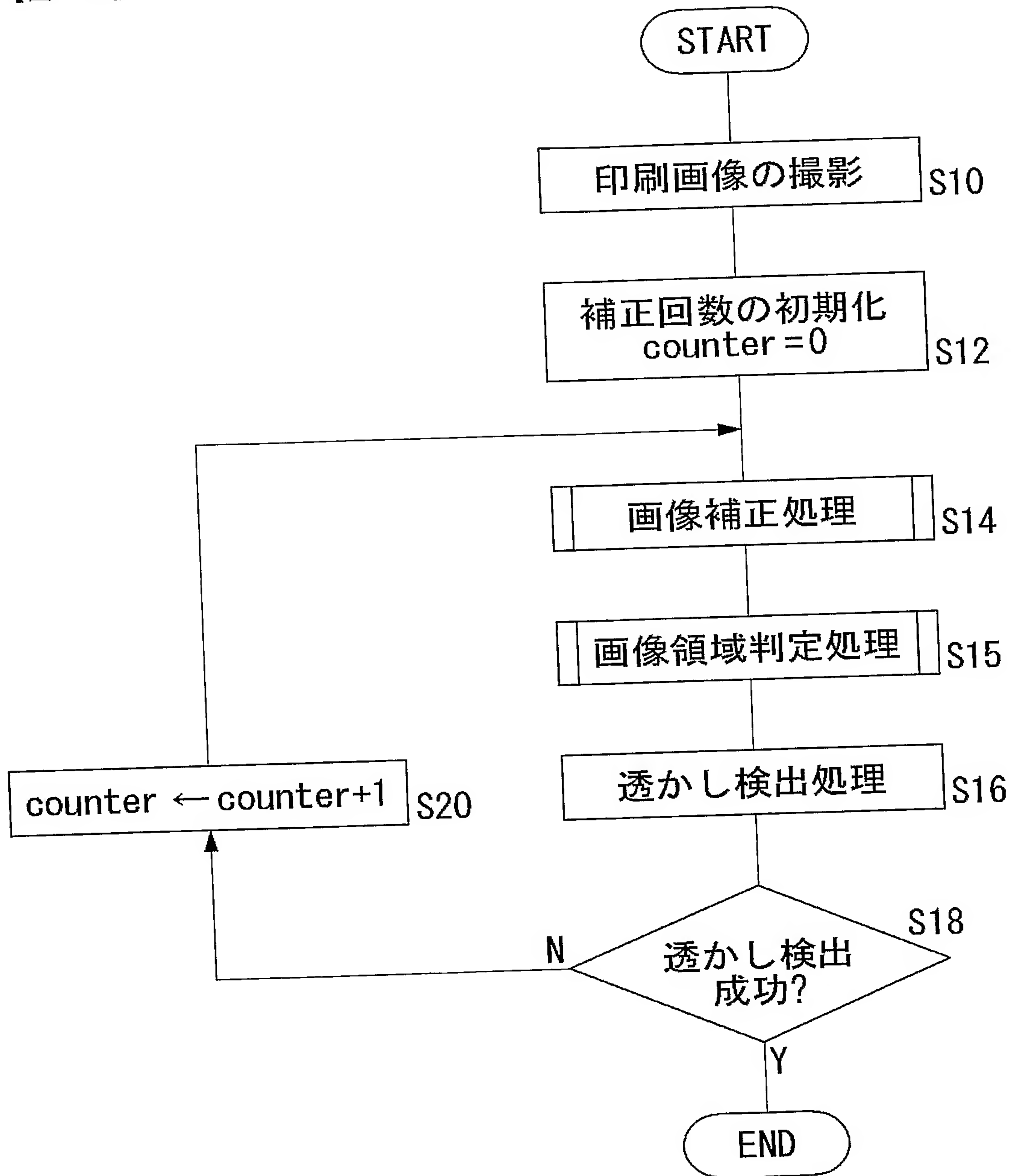
310



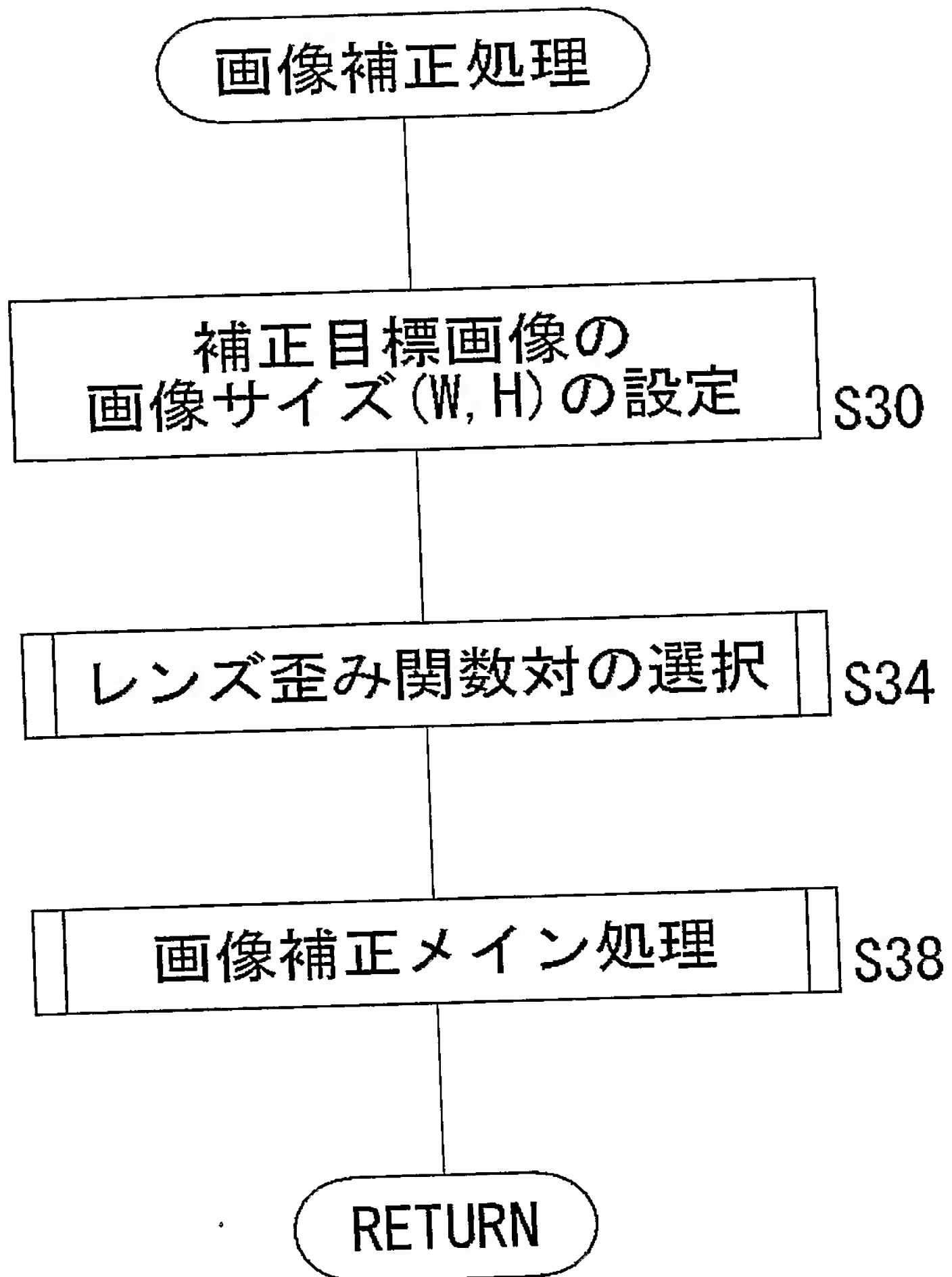
300



【図 13】

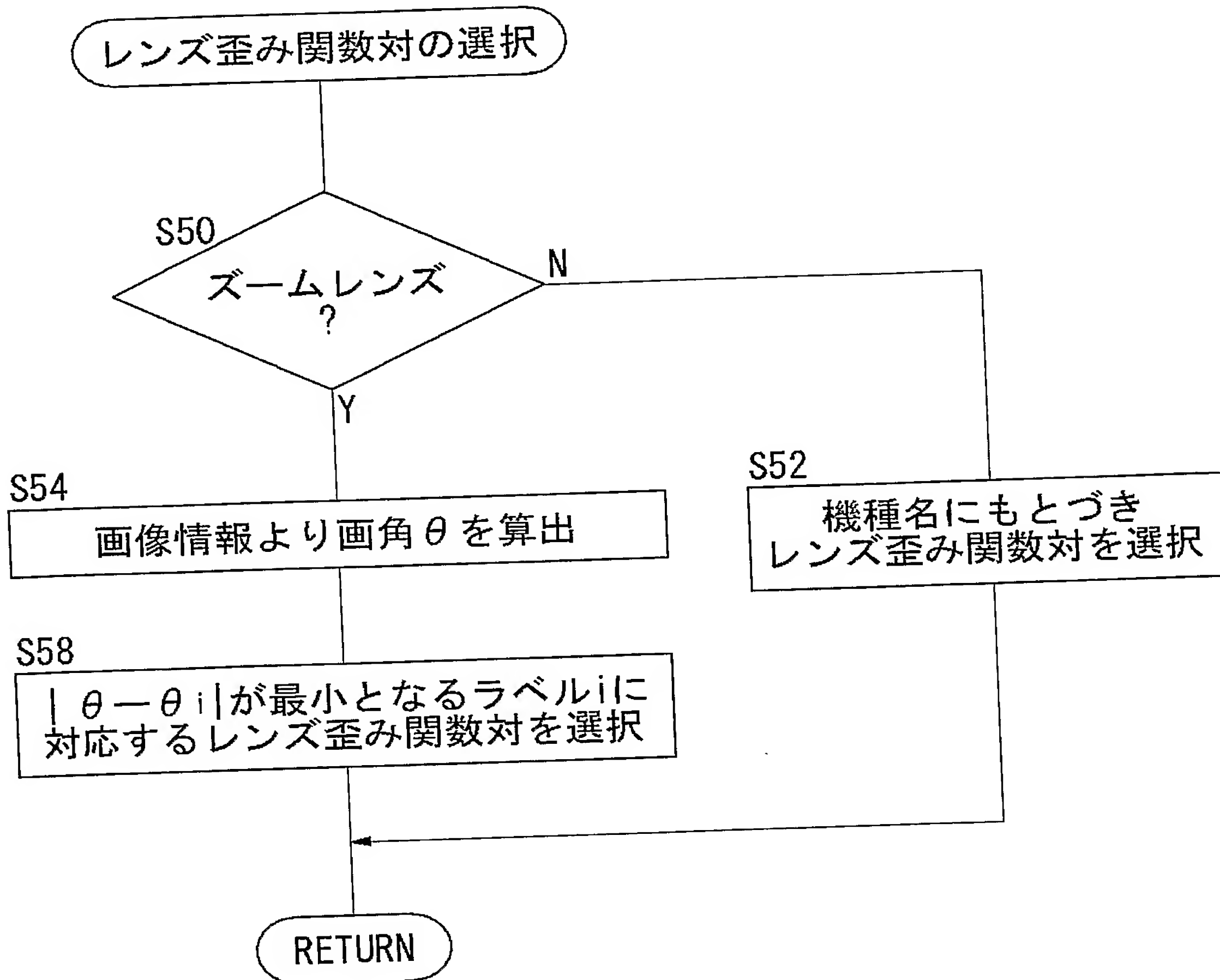


【図 1 4】

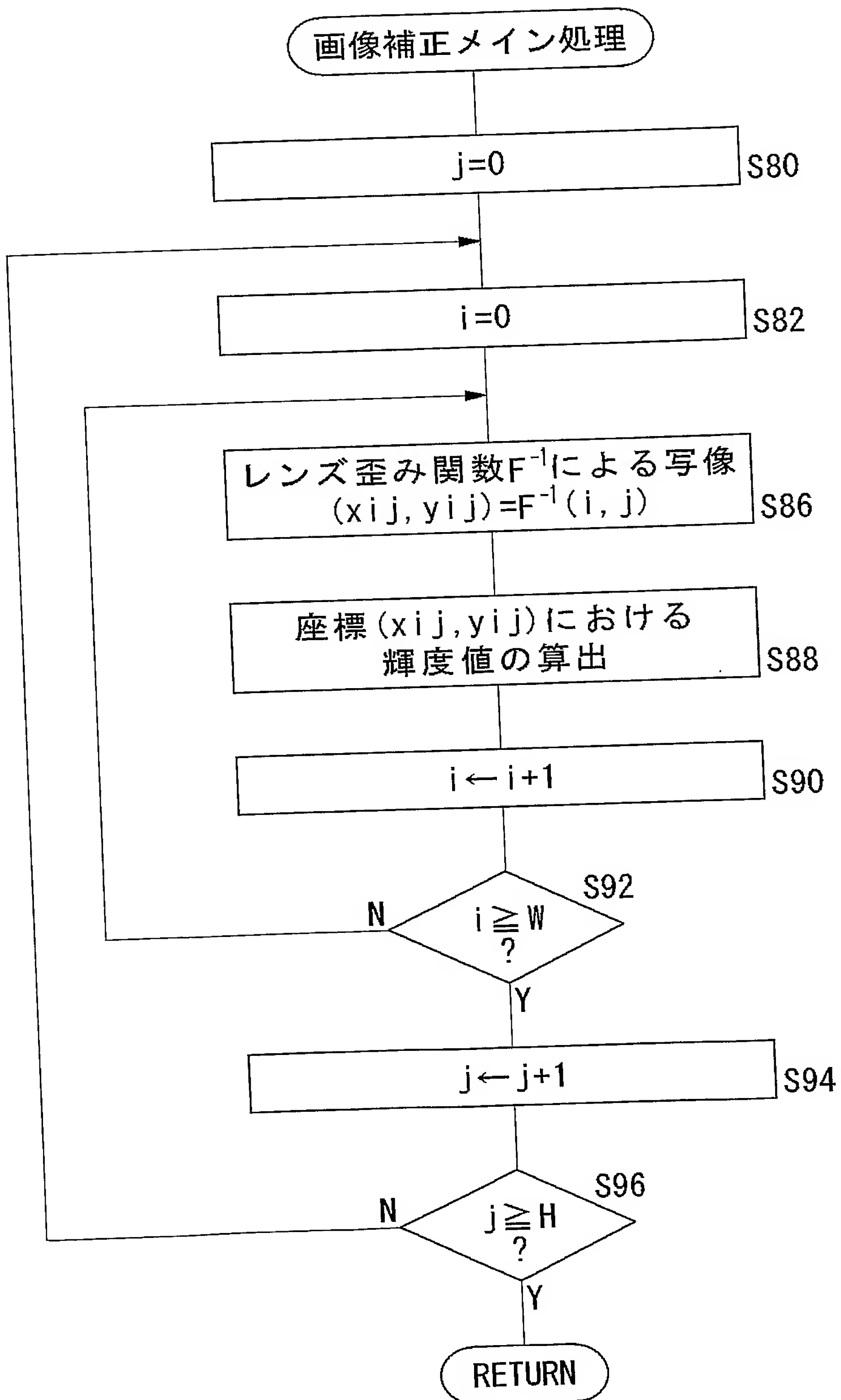
S14

【図 15】

S34

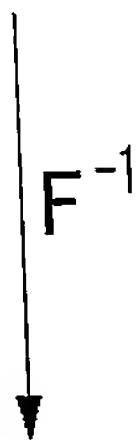
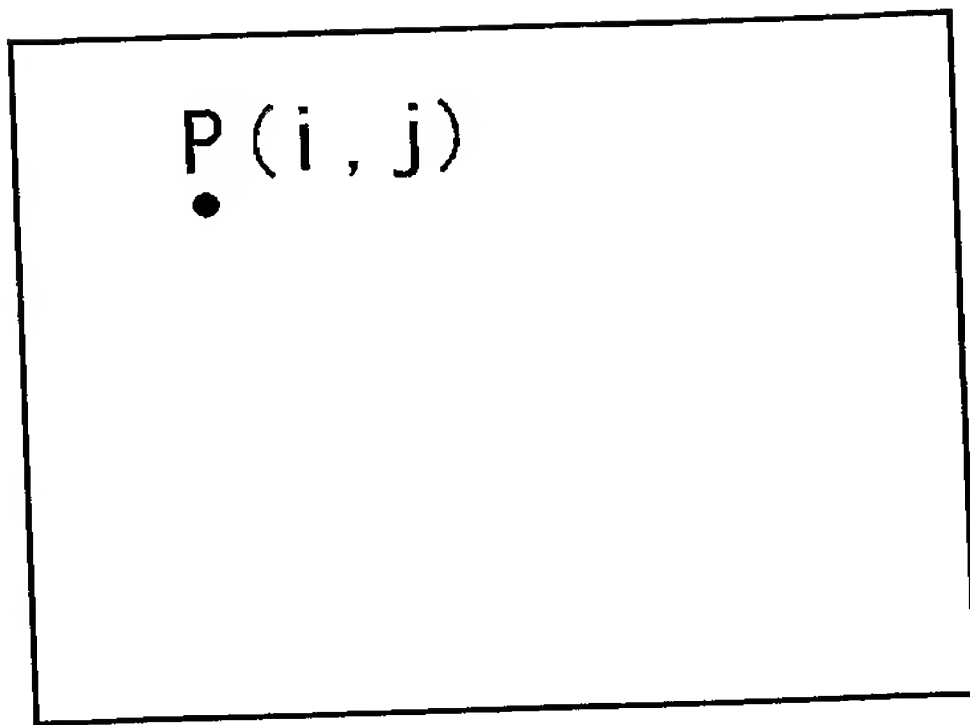


【図 16】

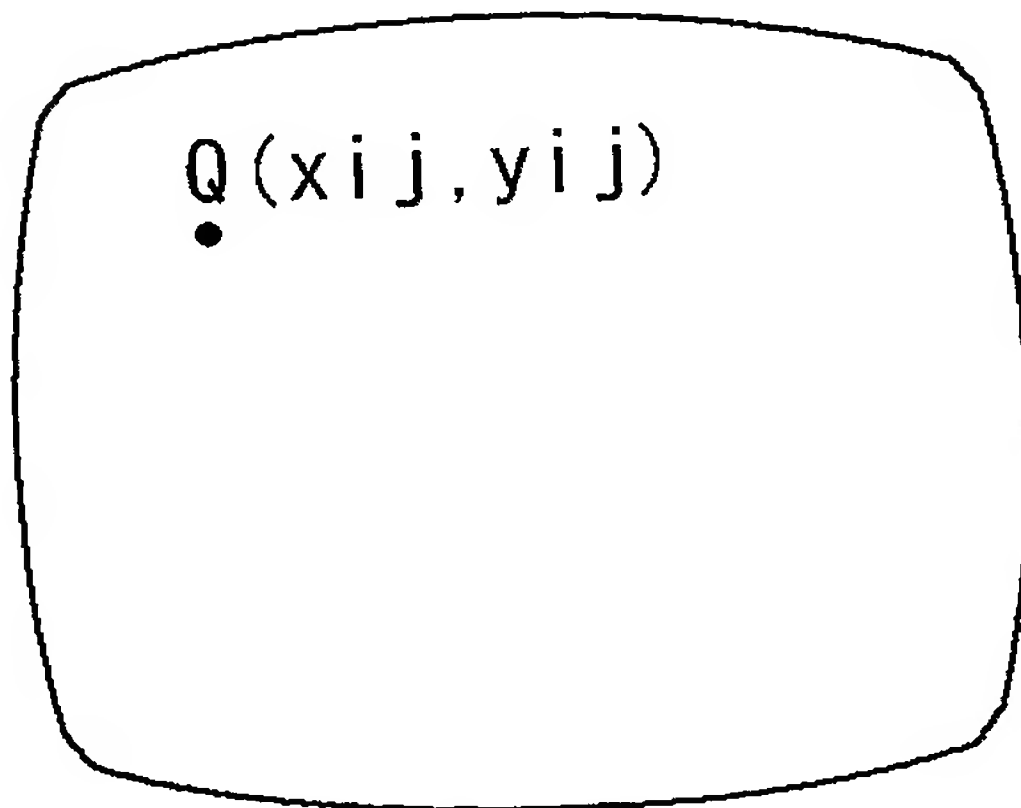
S38

【図 1 7】

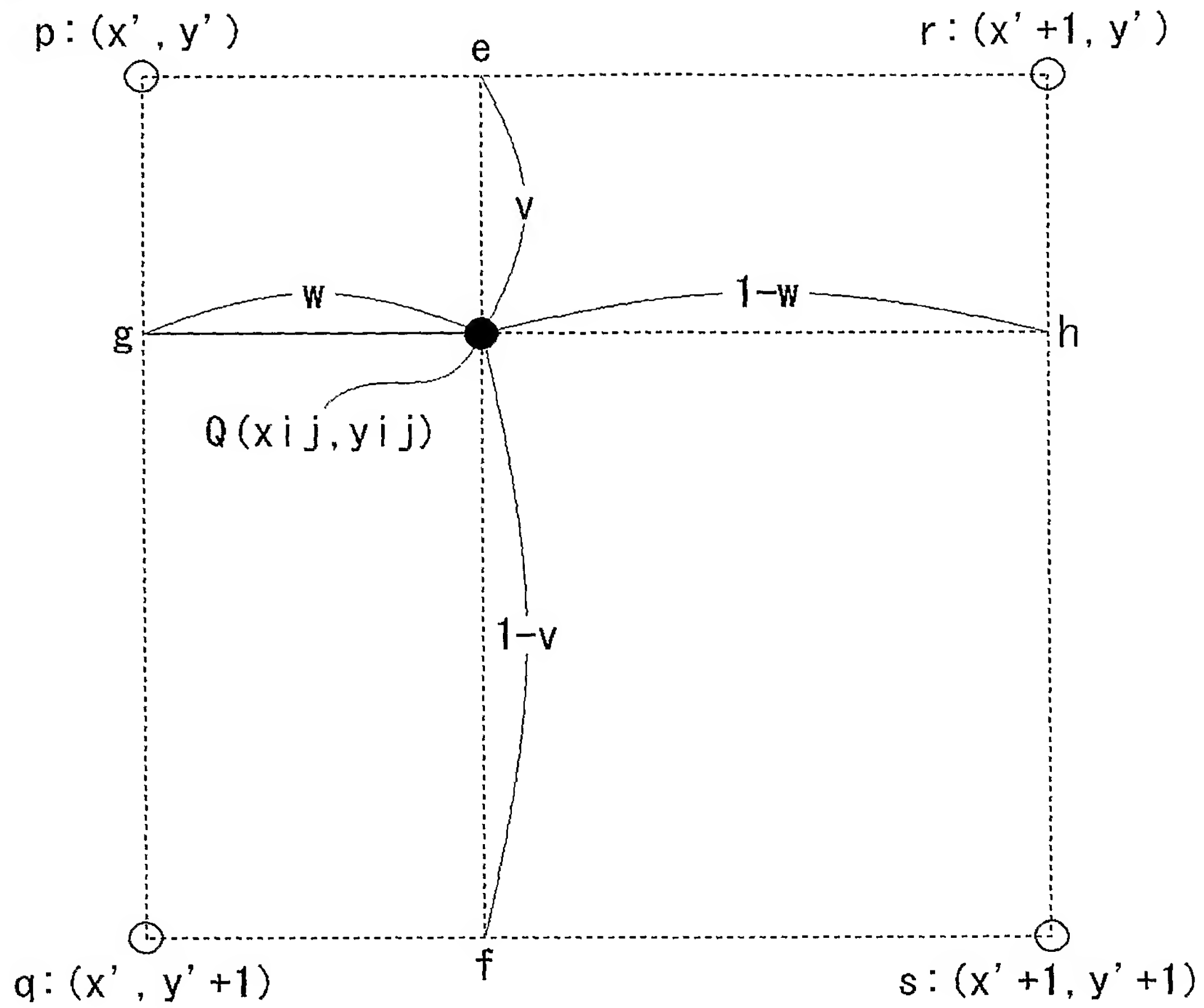
320



340

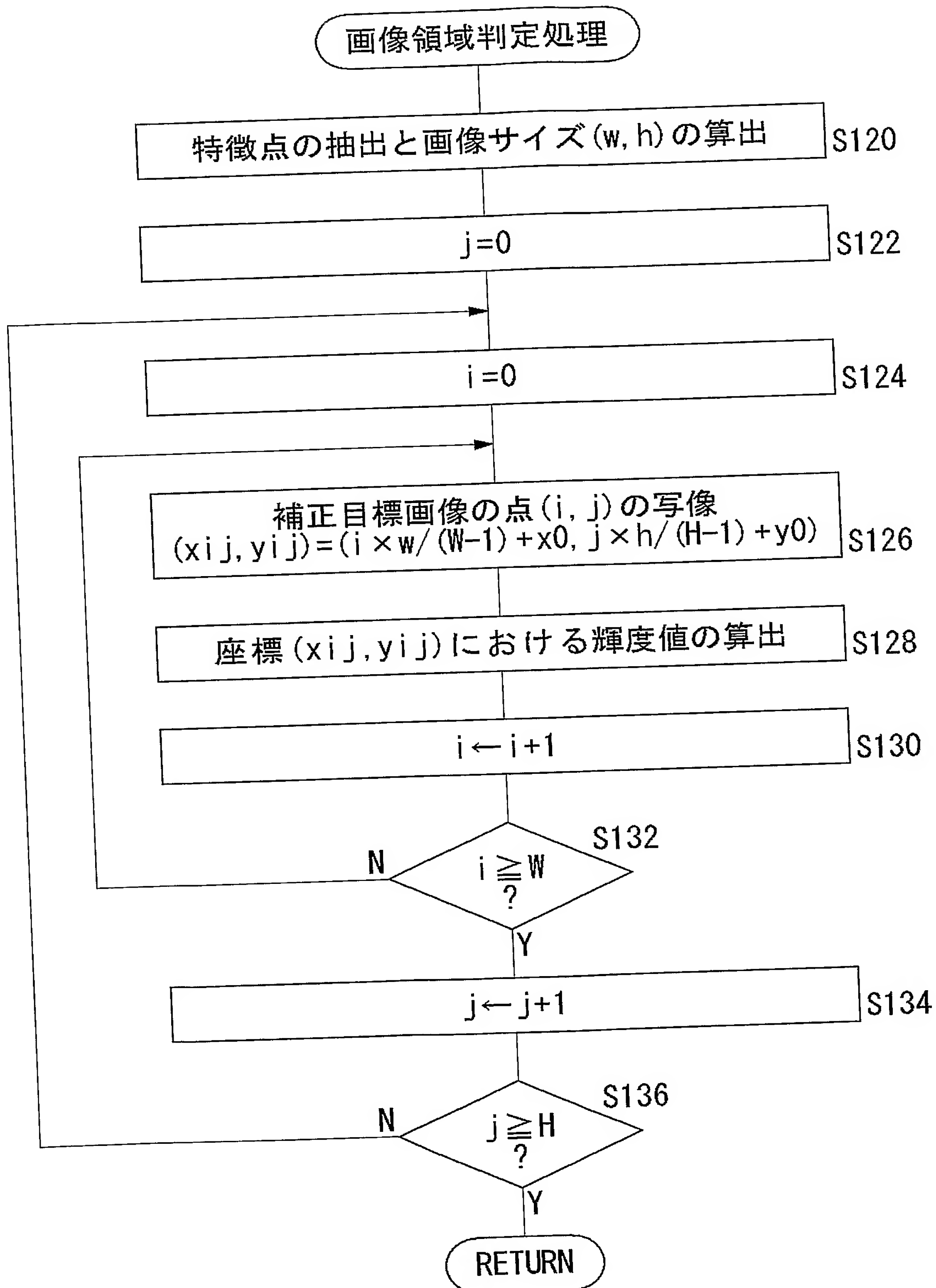


【図 18】



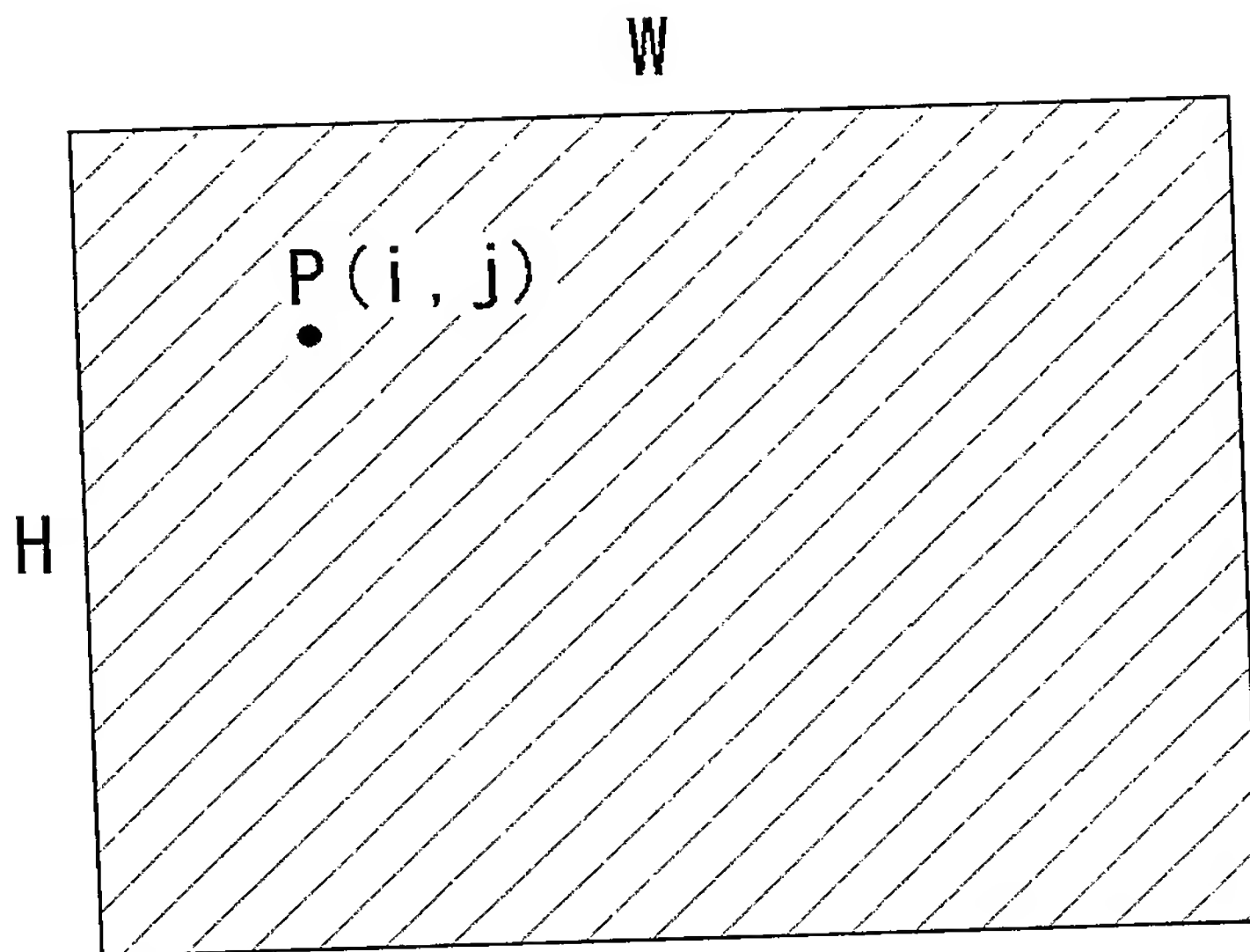
【図 19】

S15

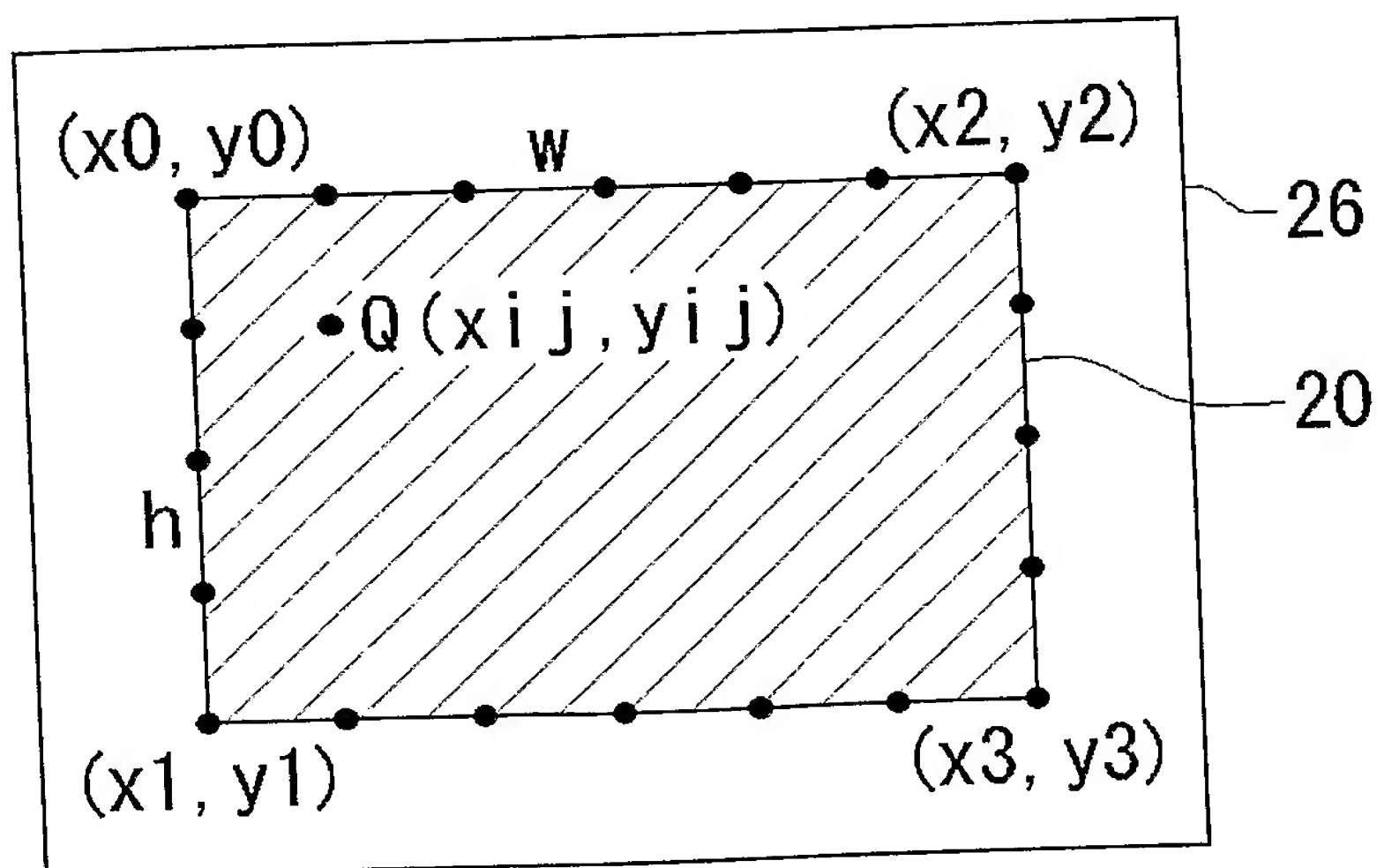


【図 2 0】

322

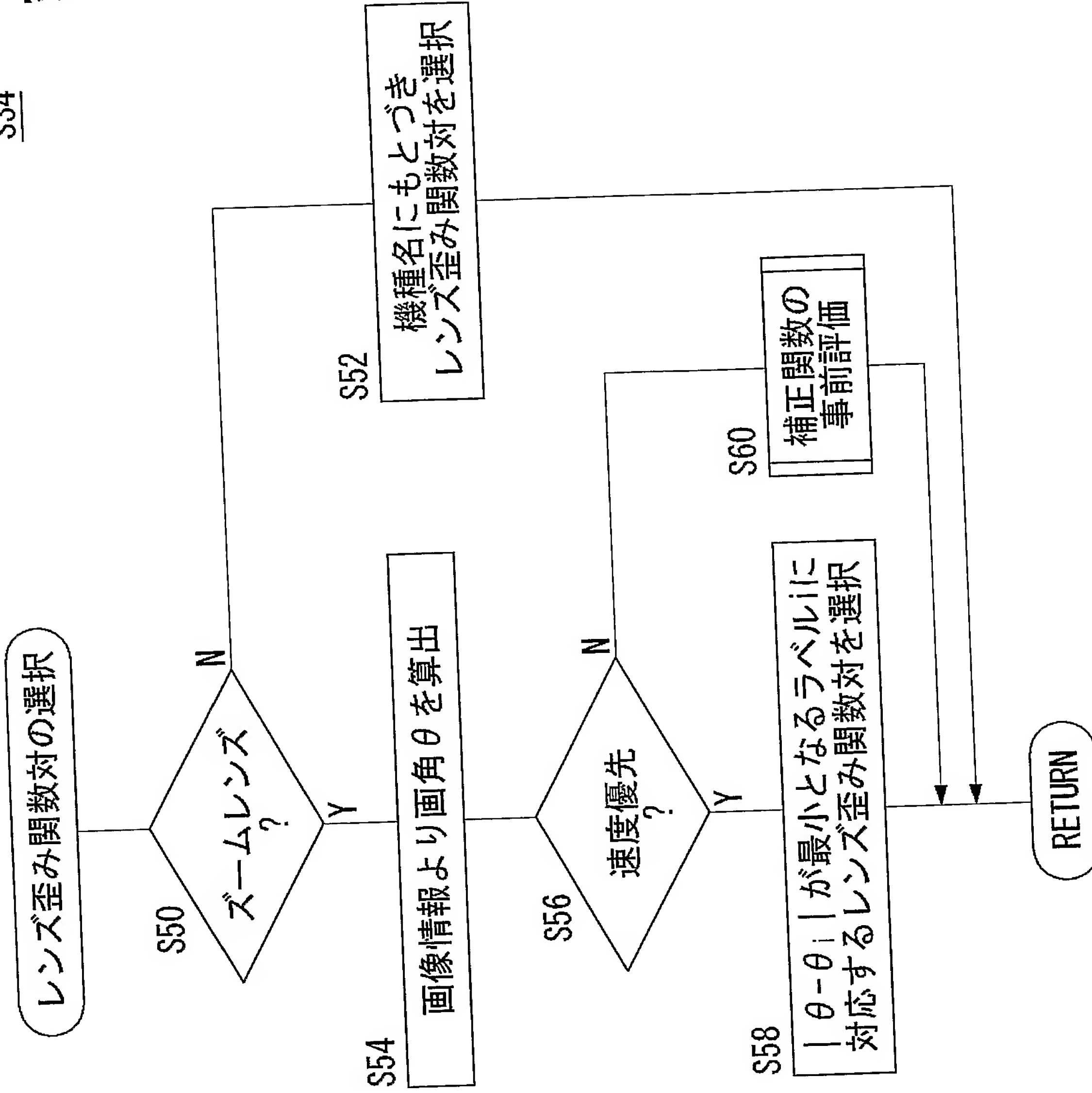


350



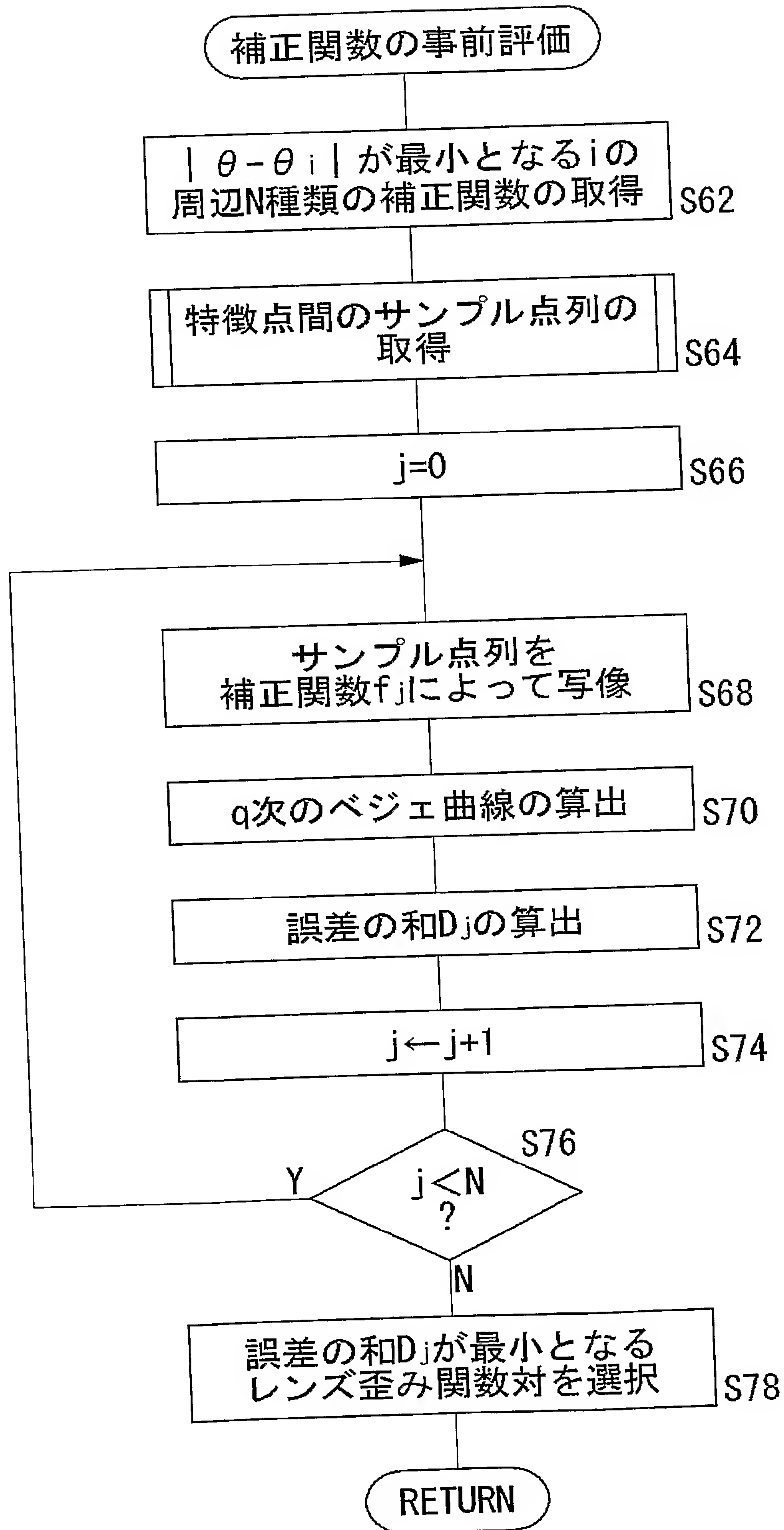
【図 21】

S34

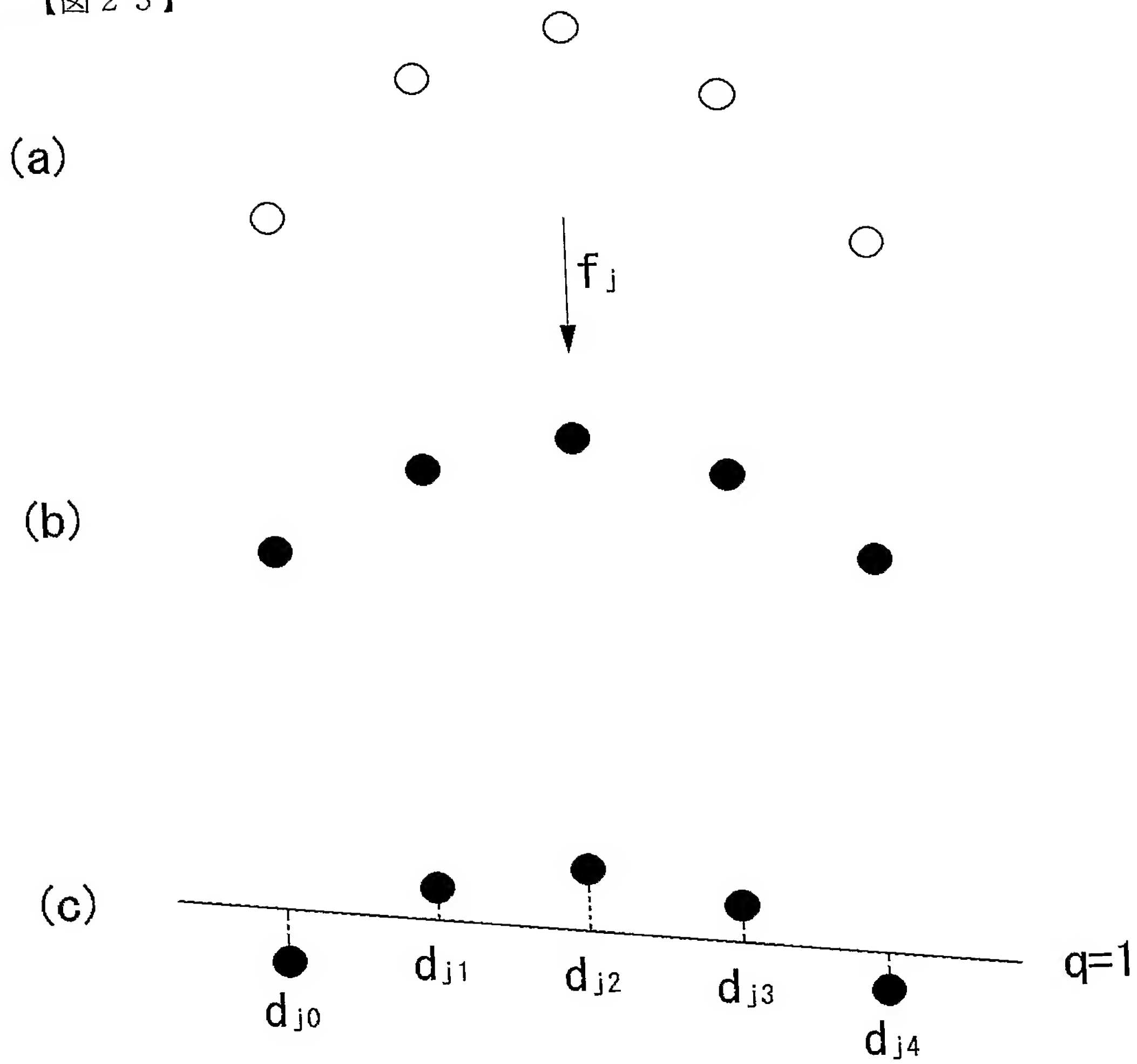


【図 22】

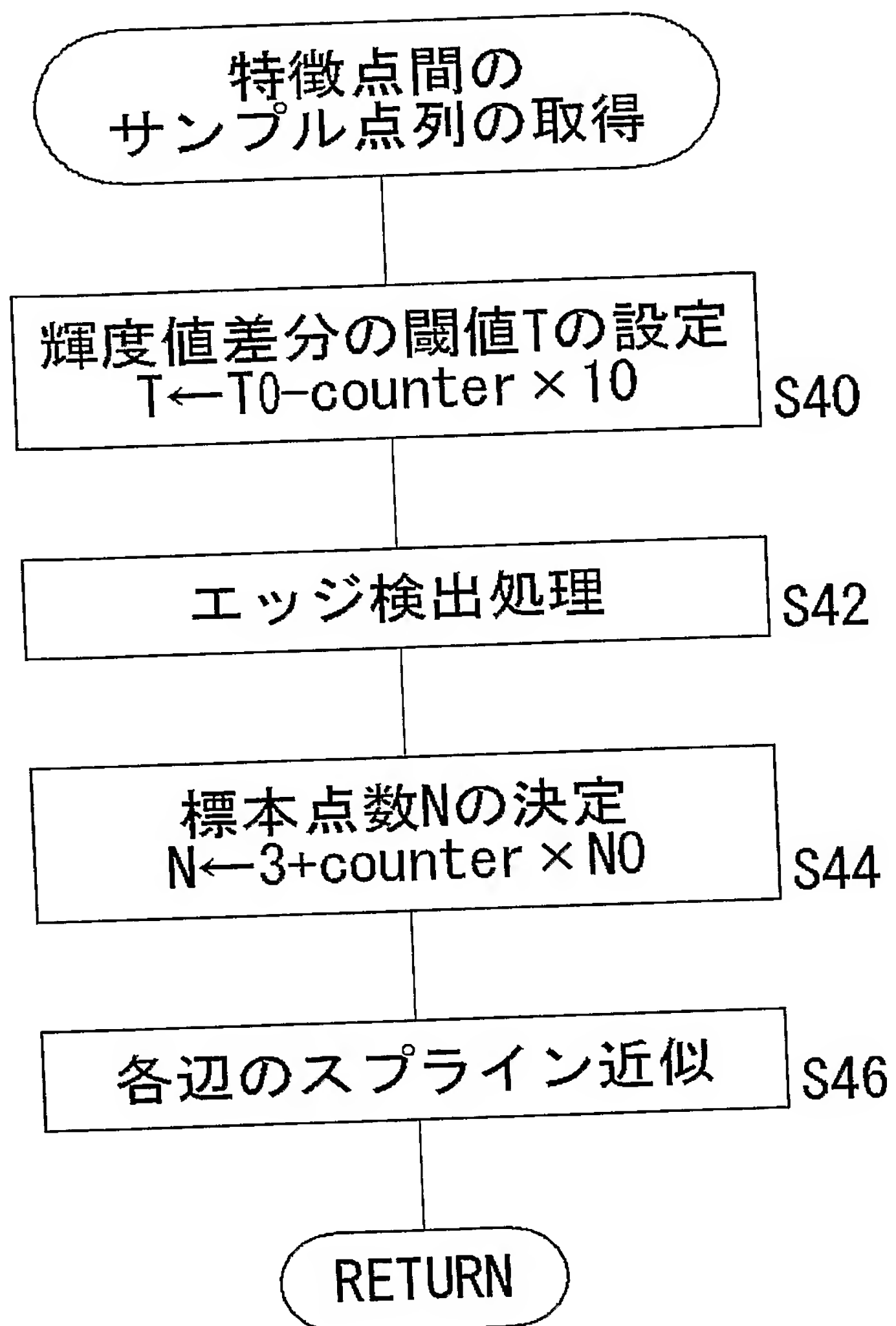
S60



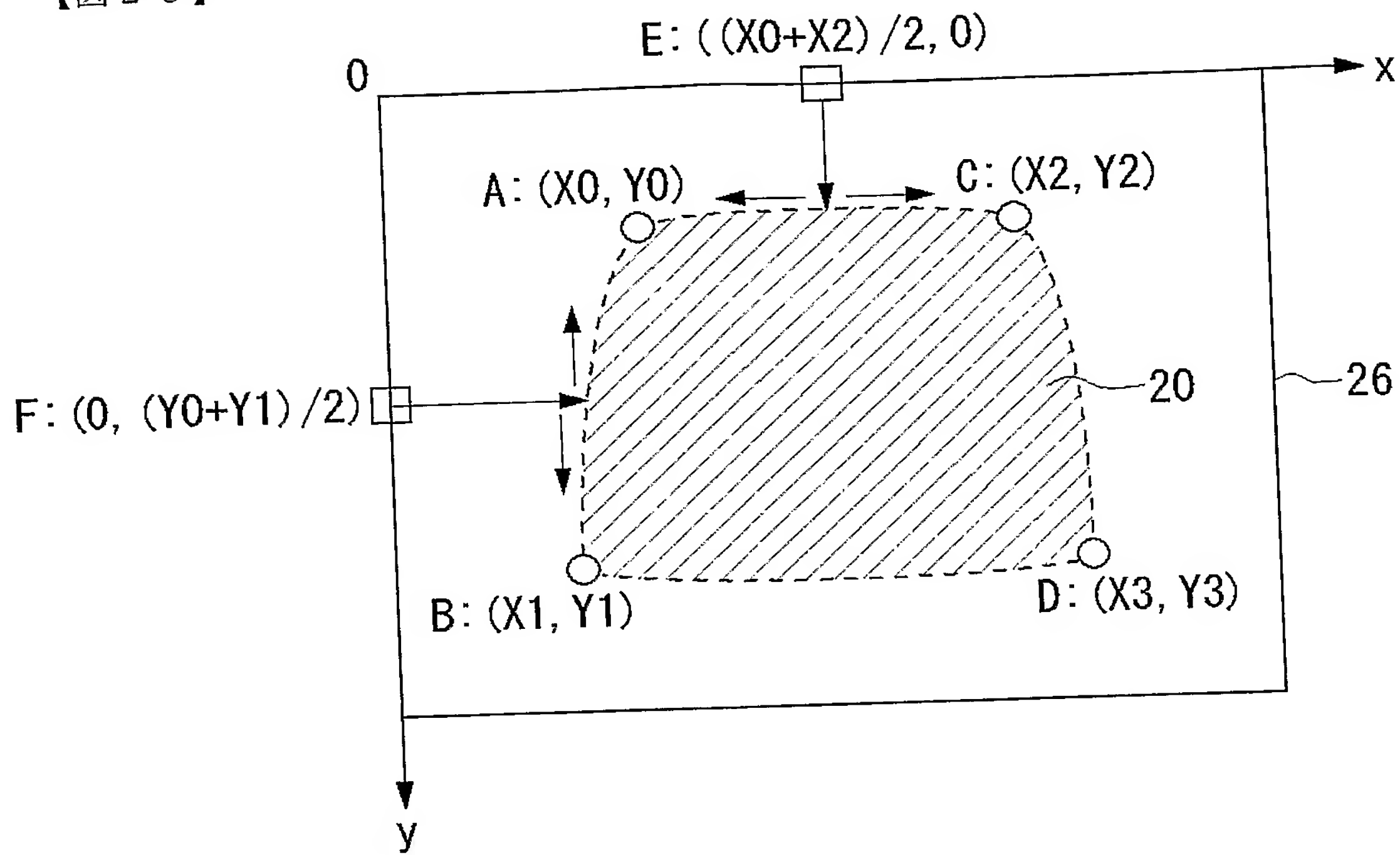
【図 2 3】



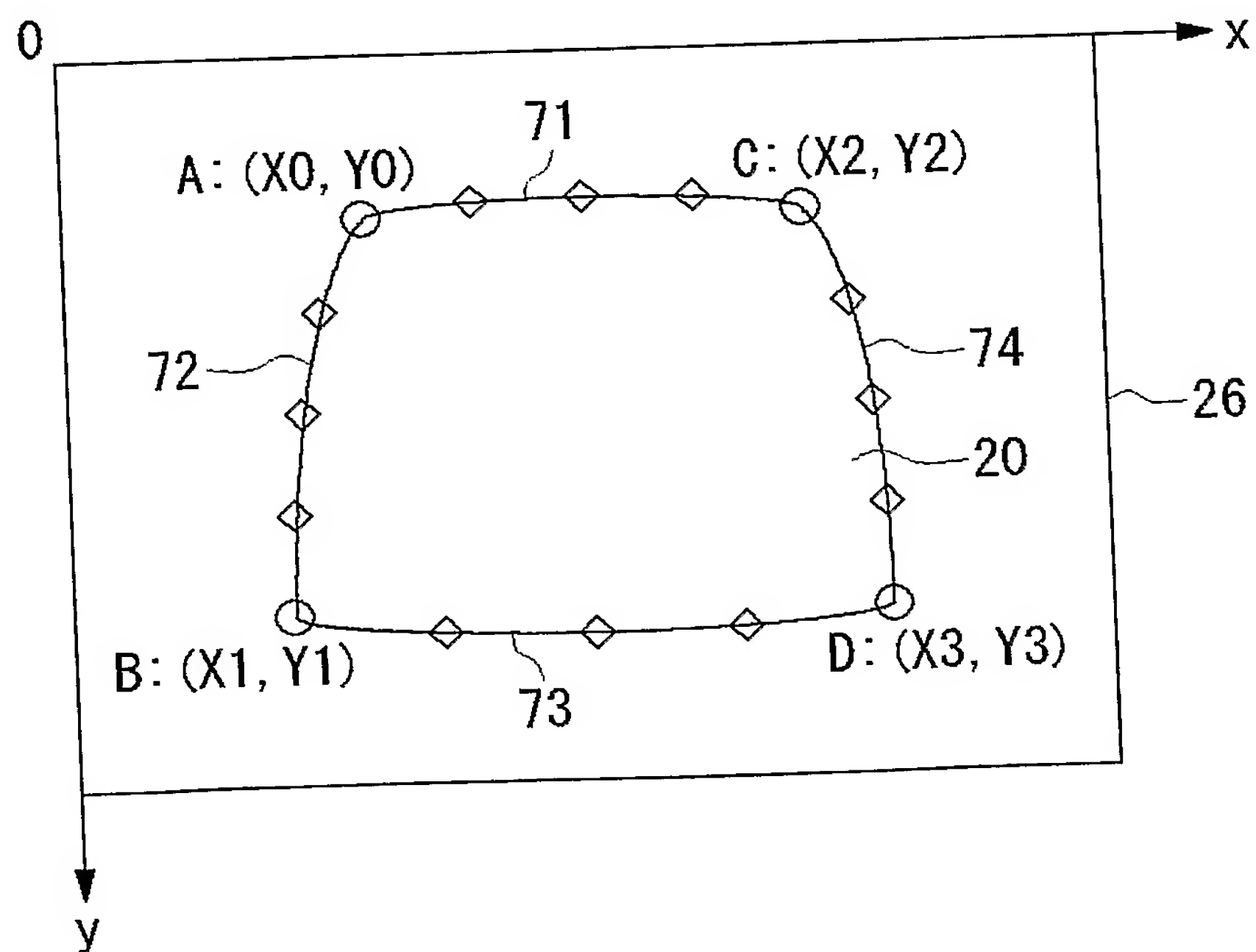
【図 24】

S64

【図 25】



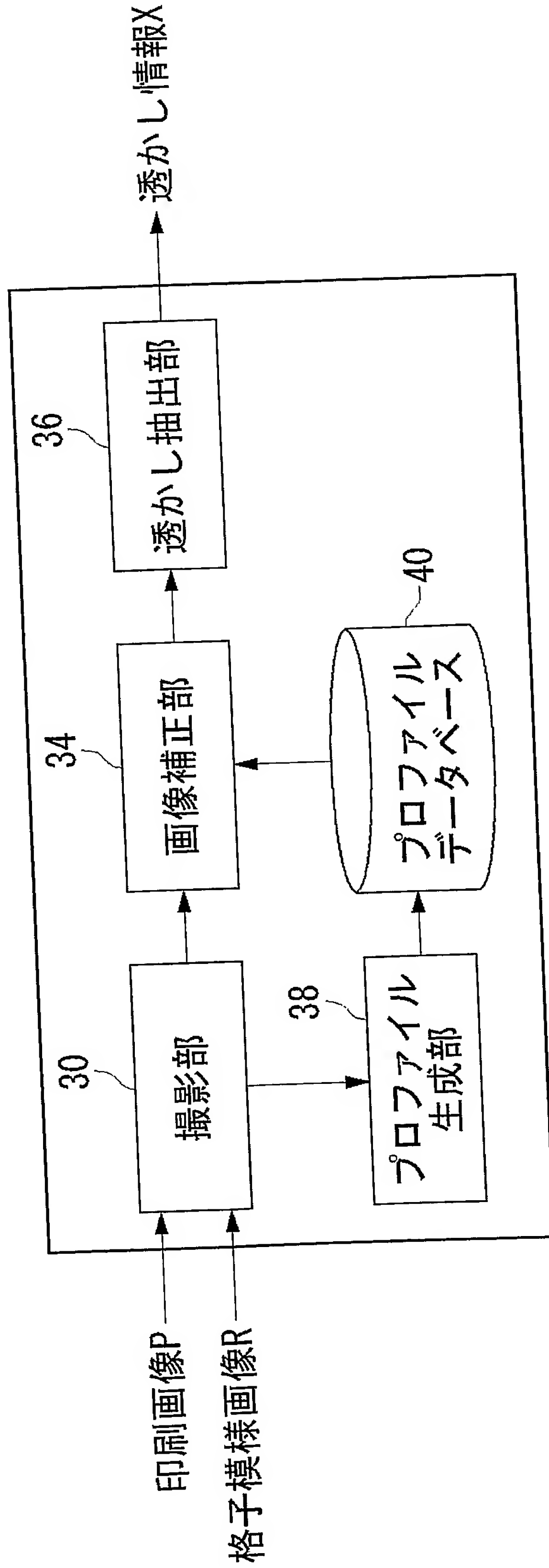
(a)



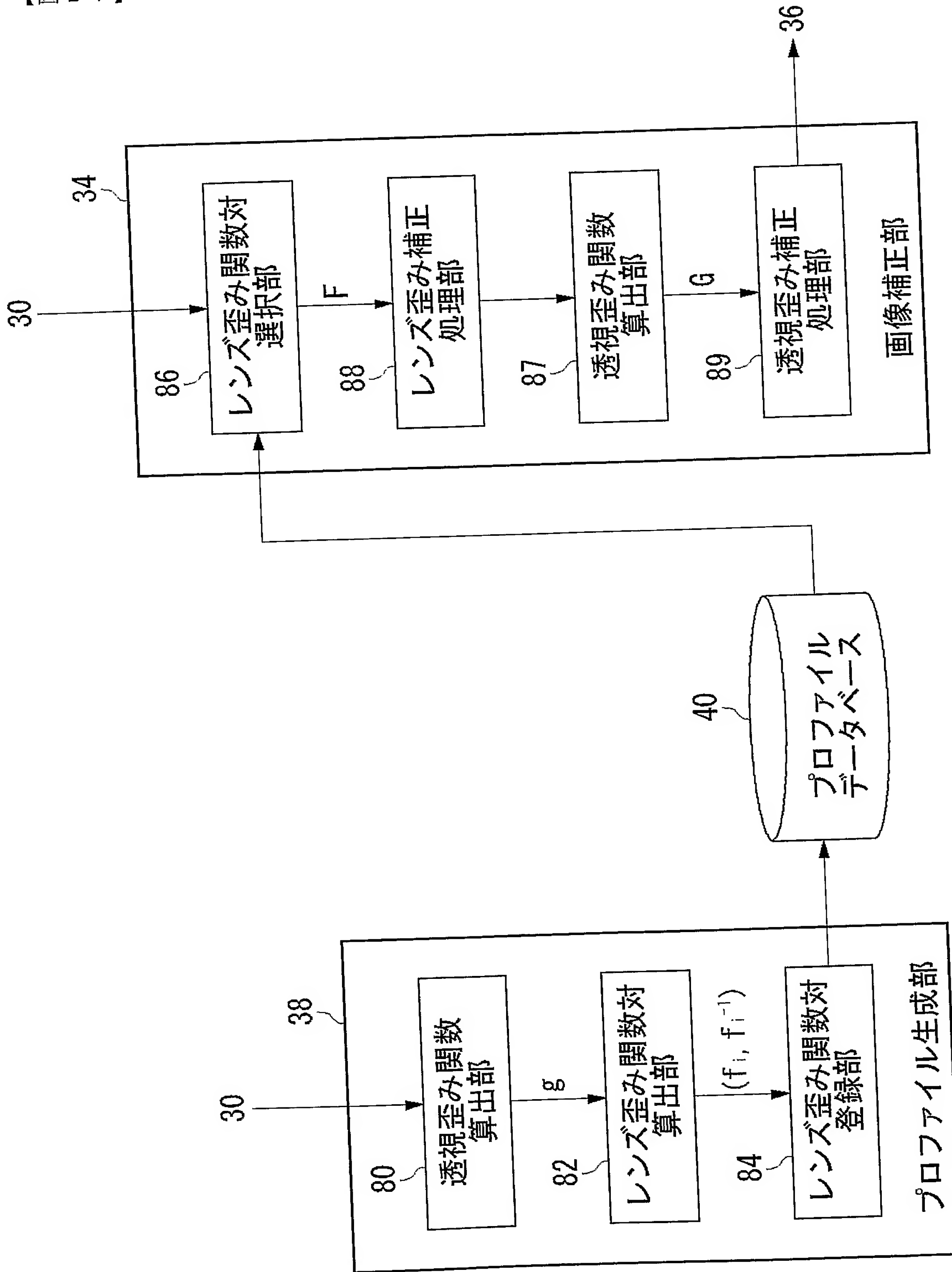
(b)

【図 26】

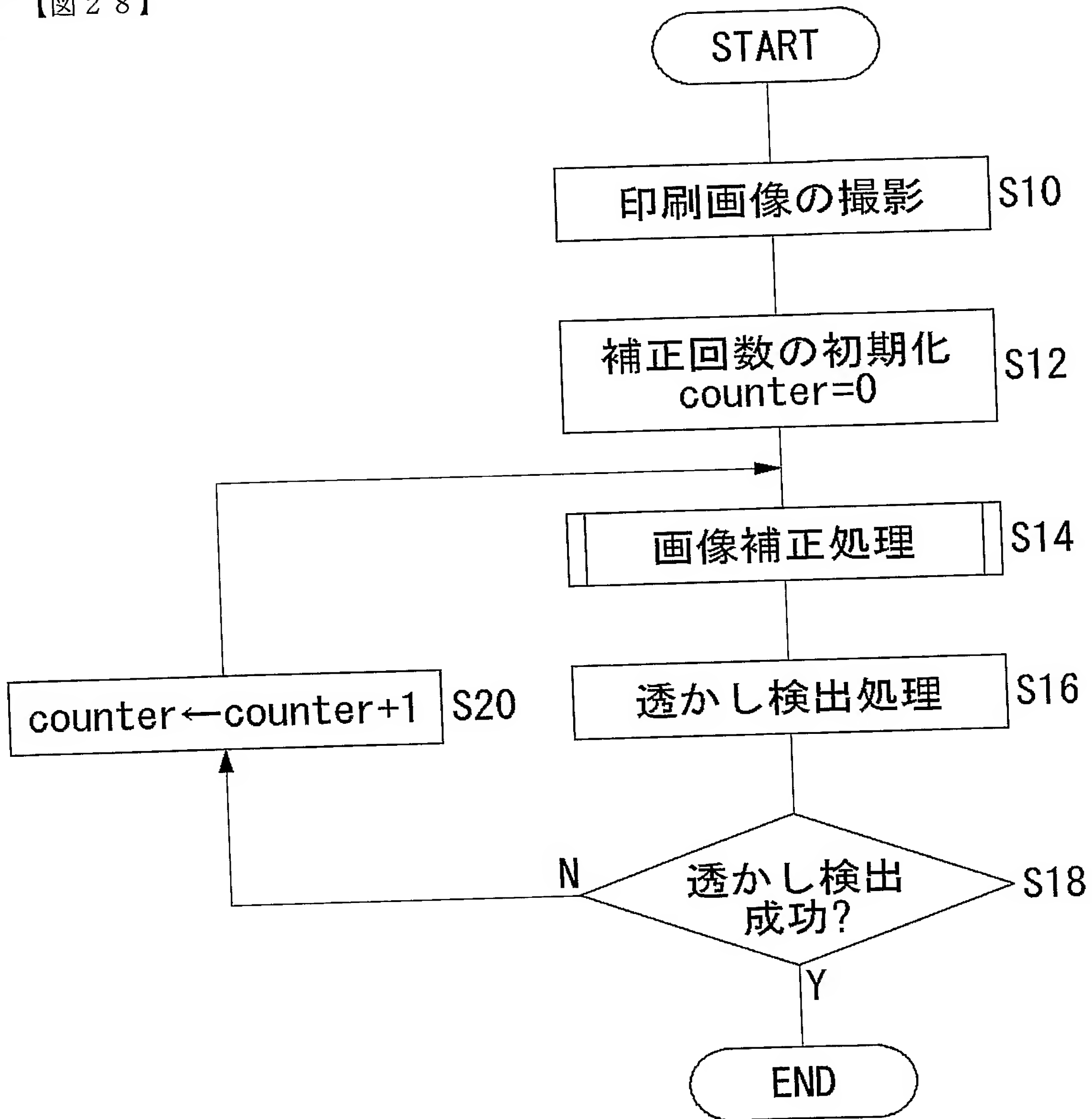
200



【図 27】

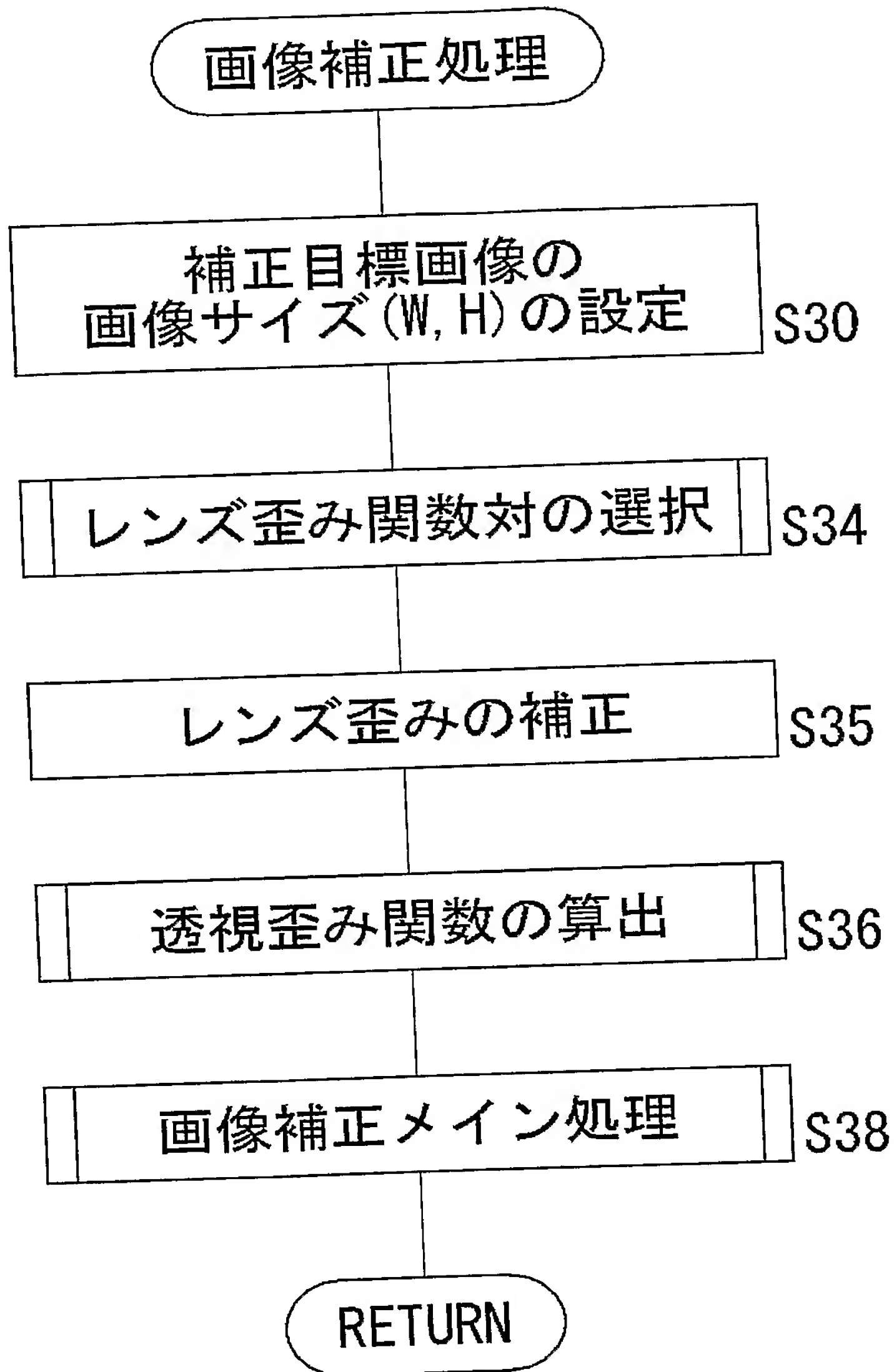


【図 28】

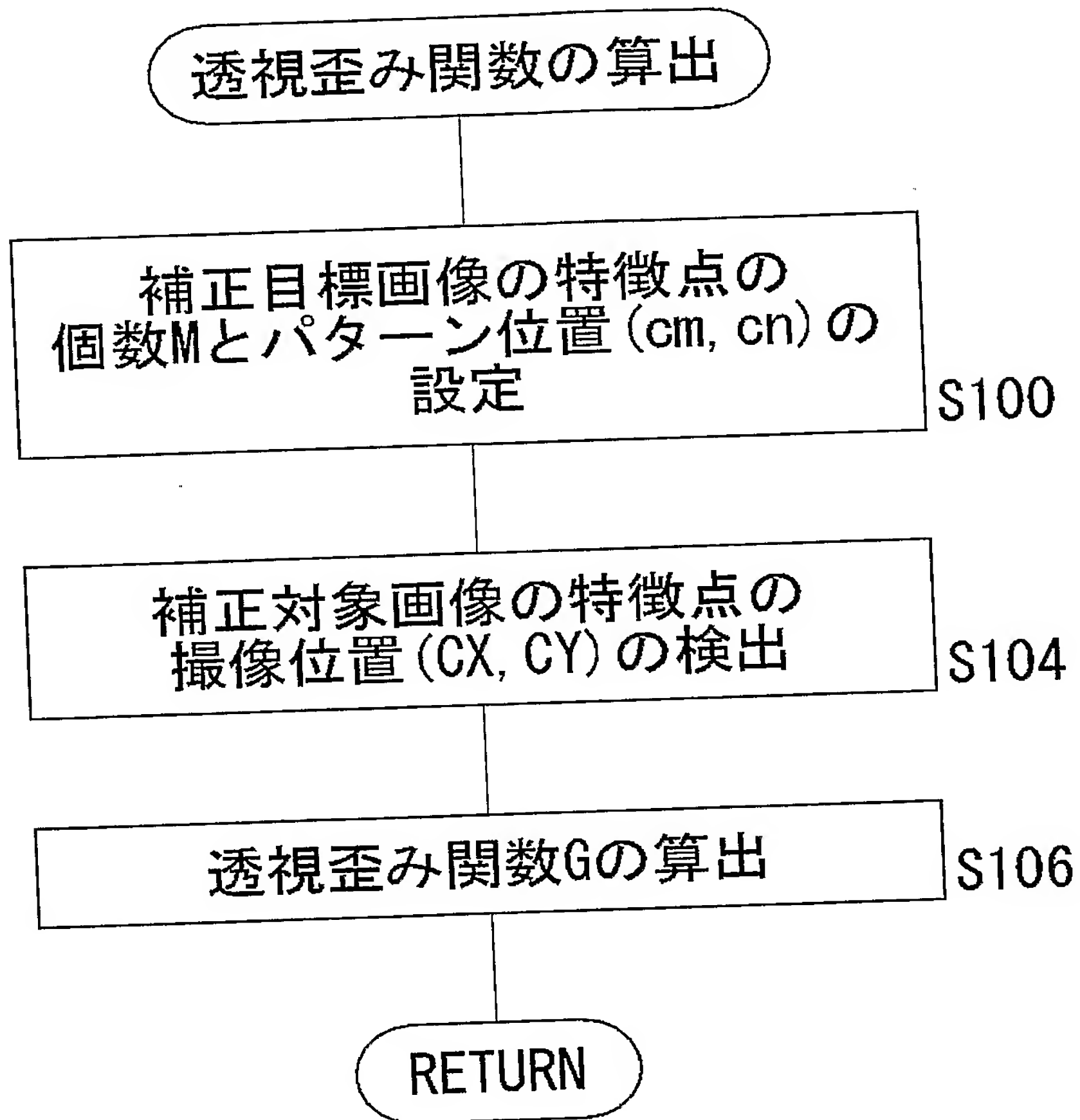


【図 2 9】

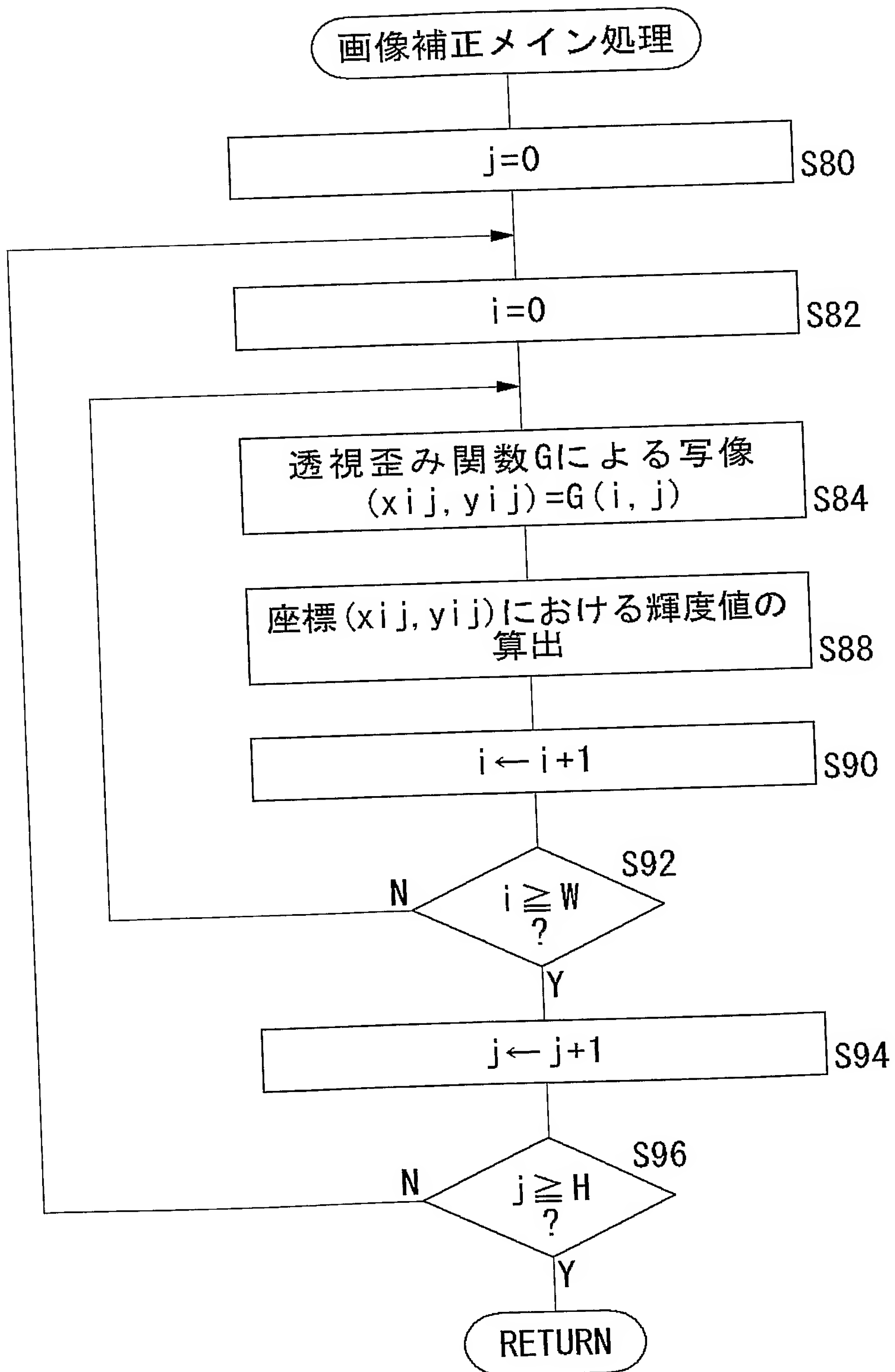
S14



【図 30】

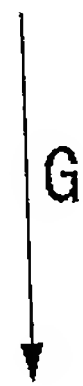
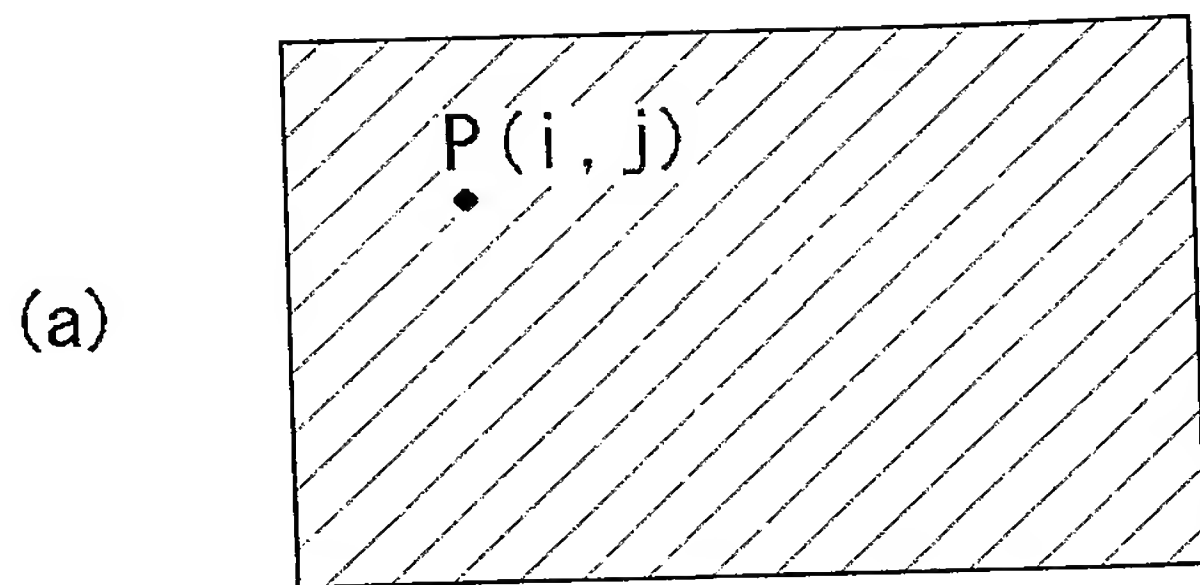
S36

【図 31】

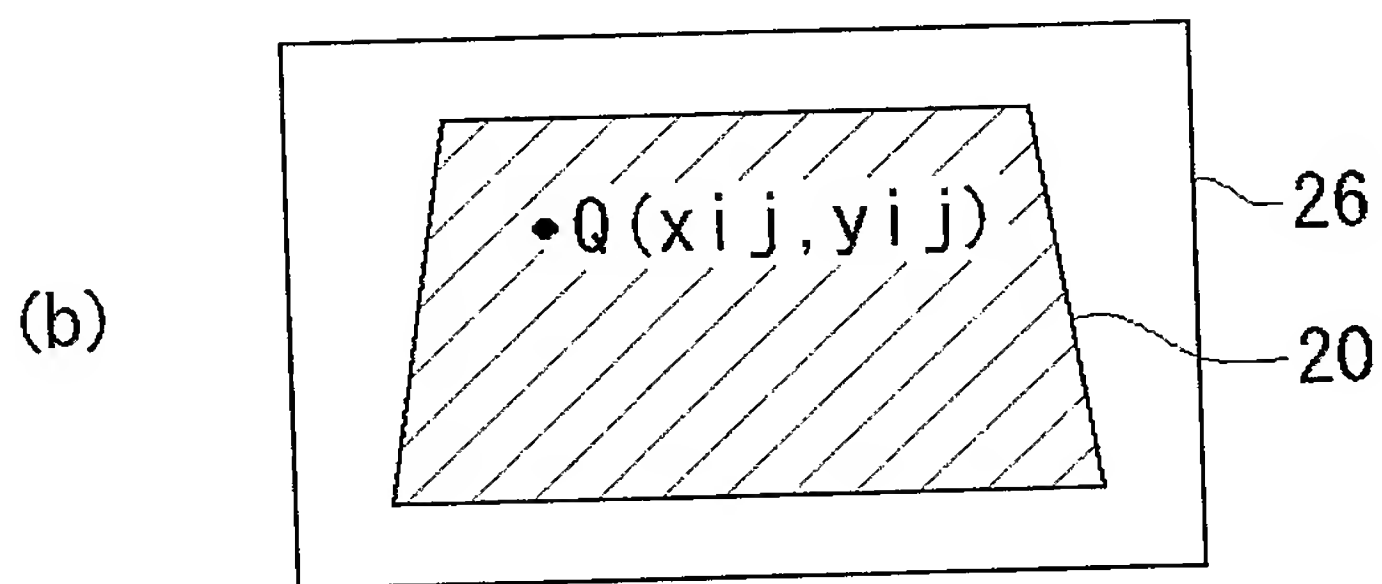
S38

【図 3 2】

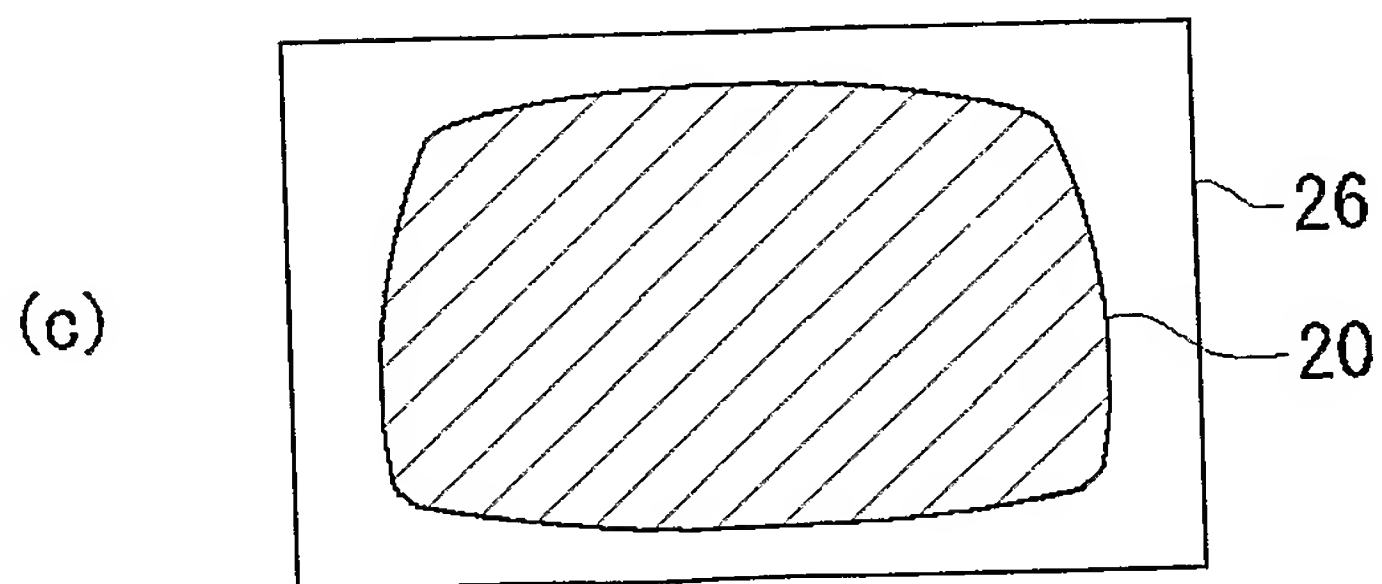
322



330



342



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 電子透かしの埋め込まれた印刷画像を撮影すると歪みが生じ、電子透かしを正しく検出することが難しくなる。

【解決手段】 撮影部 3 0 は、電子透かしの埋め込まれた印刷画像 P と格子模様画像 R を撮影して電子化する。プロファイル生成部 3 8 は、異なるズーム倍率で撮影された格子模様画像 R の格子点の位置ずれを検出して、画像に生じた歪みの補正情報を生成し、その補正情報をズーム倍率に対応づけてプロファイルデータベース 4 0 に登録する。画像補正部 3 4 は、印刷画像 P の撮影時のズーム倍率に応じた補正情報をプロファイルデータベース 4 0 から選択し、印刷画像 P の撮影画像に生じた歪みを補正する。画像領域判定部 3 2 は、歪み補正された撮影画像内の原画像領域を判定する。透かし抽出部 3 6 は、歪み補正された撮影画像内の原画像領域から透かし情報 X を抽出する。

【選択図】 図 4

特願 2 0 0 4 - 3 2 9 8 2 6

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [0 0 0 0 0 1 8 8 9]

1 . 変更年月日 1 9 9 3 年 1 0 月 2 0 日

[変更理由] 住所変更

住 所 大阪府守口市京阪本通 2 丁目 5 番 5 号

氏 名 三洋電機株式会社